

Universidad de Costa Rica
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**Guía práctica para la estabilización de taludes en los suelos de Costa Rica
utilizando vegetación nativa**

Trabajo Final de Graduación

Para obtener el grado de licenciatura en Ingeniería Civil

Presenta

Aaron Silva Orozco

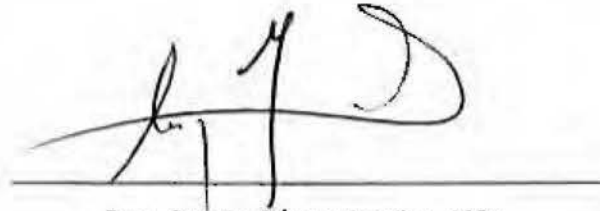
Director de Proyecto de Graduación

Ing. Sergio Sáenz Aguilar

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

Comité Asesor

El comité de graduación de este proyecto está conformado por:



Ing. Sergio Sáenz Aguilar, MSc.

Director



Ing. Marco Valverde Mora, MSc.

Asesor



Ing. Marcia Cordero Sandí

Asesor



Aaron Silva Orozco

Sustentante

Derechos de autor

Fecha: 2013, Marzo, 13

El suscrito, Aaron Silva Orozco, cédula 113110907, estudiante de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con número de carné **A55433**, manifiesta que es autor del Proyecto Final de Graduación **“Guía práctica para la estabilización de taludes en los suelos de Costa Rica utilizando vegetación nativa”**, bajo la Dirección del **MSc.Ing. Sergio Sáenz Aguilar**, quien en consecuencia tiene derechos compartidos sobre los resultados de esta investigación.

Asimismo, hago traspaso de los derechos de utilización del presente trabajo a la Universidad de Costa Rica, para fines académicos: docencia, investigación, acción social y divulgación.

Dedicatoria

Le dedico este proyecto de graduación a mis padres y a mi hermana que estuvieron siempre presentes para apoyarme en los momentos más difíciles, pues me dieron la determinación para sacar adelante una carrera profesional.

Reconocimientos

Quiero agradecer ante todo a Dios y a mi familia por el apoyo brindado a lo largo de toda la carrera al igual que a mis compañeros de la universidad.

Al Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), ya que no hubiera sido posible este proyecto por la oportunidad de realizar giras a los diferentes proyectos.

Al Ing. Sergio Saenz por sus sabias recomendaciones y su disponibilidad en el desarrollo de la investigación.

Al Ing. Marco Valverde por sus consejos, por su positivismo y por impulsarme.

A la Ing. Marcia Cordero por toda la ayuda y apoyo en la realización de este proyecto.

Al botánico de Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio) Nelson Zamora por sus recomendaciones en el uso de algunas especies vegetales.

A la Ing. For. Carolina Cascante por la información otorgada del Proyecto Hidroeléctrico en Toro Amarillo y su disposición en todo el tiempo de estadía en el proyecto.

A la Ing. Gabriela Gamboa por la información otorgada del Proyecto Hidroeléctrico Toro Amarillo

Al Ing. Cesar Suarez del Proyecto Térmico Garabito y su experiencia en el uso de la hidrosiembra.

Al Ing.For. Rolando Nuñez por su disposición a ayudar para sacar adelante las giras y la buena programación de las mismas, pues este proyecto no hubiese sido posible sin su ayuda.

Al Ing. For. Randall Muñoz por su apoyo en las giras realizadas, sus conocimientos y recomendaciones en los diferentes proyectos visitados.

Indice General

Capítulo 1. Introducción.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Justificación	2
1.2.1 El problema específico	2
1.2.2 Importancia	2
1.2.3 Antecedentes teóricos y prácticos del problema.....	3
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4
1.4 Delimitación del problema	5
1.4.1 Alcance.....	5
1.4.2 Limitaciones	5
1.5 Metodología	6
Capítulo 2. Selección de especies vegetales que cumplen con características necesarias para la estabilidad de taludes.....	8
2.1 Clasificación general de las especies vegetales	8
2.2 Selección de las especies de acuerdo con las características mecánicas a nivel cualitativo.....	10
2.2.1 Raíces como mecanismos de refuerzo de los talude.....	10
2.2.2 Sistema suelo raíces y análisis en la estabilidad de los taludes.....	13
2.3 Selección de las especies de acuerdo con las características hidrológicas a nivel cualitativo.....	18
2.3.1 Efectos hidrológicos	18
2.3.2 Factores que afectan la absorción del agua.....	20
2.4 Clasificación de las especies de vegetación de acuerdo con sus características físicas	21
2.5 Criterios de selección de especies vegetales	22

Capítulo 3. Ubicación geográfica de las especies vegetales aptas para la estabilidad de taludes en los suelos de Costa Rica.....24

3.1	Sistemas de clasificación ecológica y concepto de zonas de vida	24
3.2	Uso de vegetación autóctona o nativa	26
3.2.1	Especies exóticas o invasoras	27
3.2.2	Control de maleza.....	28
3.3	Erosión	28
3.3.1	Tipos de erosión.....	29
3.3.2	Factores erosivos.....	31
3.4	Conservación de suelos y condiciones edafológicas para las especies.	33
3.5	Ubicación de especies por distritos, cantones y zonas de vida según Leslie Holdridge	36
3.5.1	Zonas de vida según Holdridge para cada distrito de Costa Rica	36
3.5.2	Zonas de vida según Holdridge para las especies seleccionadas aptas para la estabilidad de taludes.....	38

Capítulo 4. Uso de especies vegetales para la estabilización de laderas y sus métodos de implantación.....40

4.1	Clasificación de los movimientos en masa	40
4.1.1	Deslizamientos	42
4.1.2	Coladas o Flujos	42
4.1.3	Desprendimientos o caídas	42
4.1.4	Vuelcos.....	43
4.1.5	Avalanchas.....	43
4.1.6	Desplazamientos laterales	44
4.1.7	Identificación de los movimientos	44
4.2	Uso de vegetación y precauciones de drenaje	45
4.3	Técnicas de bioingeniería de suelos y estabilización biotécnica de taludes	46
4.3.1	Estaquillado	47
4.3.2	Empalizada de vegetación o fajinas de ladera	49
4.3.3	Escalones y paquetes de matorral	50
4.3.4	Muros vivientes	52
4.3.5	Estructuras de tierra reforzada.....	53

4.3.6 Muros de roca y vegetación	54
4.4 Implantación de la vegetación	55
4.4.1 Siembra	55
4.4.2 Plantación	57

Capítulo 5 Resultados de giras de campo y casos prácticos de la vegetación en taludes.....59

5.1 Sistema radical de las especies vegetales observadas en campo	59
5.1.1 Sistemas radicales de las especies observadas en los taludes de la zona norte....	60
5.1.2 Sistemas radicales de las especies observadas en los taludes de la zona sur	62
5.2 Taludes en la Represa Hidroeléctrica Toro Amarillo.....	64
5.2.1 Talud camino a casa de maquinas en Toro II	64
5.2.2 Talud en la tubería de alta presión de Toro III	66
5.2.3 Talud con deslizamiento rotacional en Toro III.....	68
5.2.4 Talud en Toma la Flor, Toro III.....	69
5.2.5 Talud con enrocado en la base (Toma la Flor, Toro III)	70
5.3 Talud en la Planta Térmica Garabito	72
5.3.1 Tratamiento del talud con hidrosiembra.....	72
5.4 Taludes en ArCoSa	73
5.4.1 Talud en el Centro de Producción Arenal	73
5.4.2 Trinchera en la tubería de baja presión del CP Miguel Dengo.....	75
5.5 Subestación Transformadora Palmar norte.....	77
5.5.1 Taludes alrededor de la subestación.....	77
5.6 Especies vegetales observadas en los taludes de las diferentes zonas del país	82

Capítulo 6. Guía práctica para la estabilización de taludes en los suelos de Costa Rica utilizando vegetación nativa.....85

6.1 Creación de un grupo de asesores.	86
6.2 Selección de especies.....	86
6.3 Ubicación del proyecto	87
6.3.1 Capacidad y uso del suelo	87
6.3.2 Determinación de la zona de vida	88

6.3.3 Especies recomendadas para la estabilidad de taludes de acuerdo con el tipo de zona de vida.....	88
6.3.4 Disponibilidad de las especies vegetales	89
6.4 Diseño geotécnico y conformación de la vegetación en el talud	89
6.4.1 Escogencia de la biotécnica ó la bioingeniería de suelos a utilizar en el proyecto .	91
6.4.2 Determinación del método de implantación de las especies vegetales	92
6.5 Mantenimiento	92
Capítulo 7. Conclusiones y Recomendaciones	148
7.1 Conclusiones	148
7.2 Recomendaciones.....	150
Referencias bibliográficas	151

Índice de Figuras

Figura 1.1 Metodología del proyecto.....	6
Figura 2.1. Tipo de raíces.....	11
Figura 2.2. Tipos de anclaje a la superficie de falla por acción de las raíces	13
Figura 2.3. Diámetro y resistencia de algunas especies vegetales.	17
Figura 2.4 Deformación unitaria de algunas especies vegetales.	17
Figura 2.5. Efectos que genera la vegetación en el modelo hidrológico.....	19
Figura 3.1 Esquema general de cárcava de erosión	31
Figura 4.1 Clasificación de los movimientos de ladera.	41
Figura 4.2. Detalle del uso de la técnica de estaquillado.....	48
Figura 4.3 Fajinas de ladera	49
Figura 4.4 Técnica de escalones de matorral para la estabilidad de movimientos en masa.....	51
Figura 4.5 Técnica de paquetes de matorral para reparar pequeños deslizamientos.....	52
Figura 4.6 Muros vivientes para estabilizar movimientos en masa.	53
Figura 4.7 Estructura de tierra reforzada para la estabilidad de movimientos en masa.	54
Figura 4.8 Muros de roca y vegetación	55
Figura 5.1 Algunas sistemas radicales observados en campo de especies recomendadas para la estabilización de taludes.....	61
Figura 5.2 Sistemas radicales de especies observadas en la Ruta Nacional 2.....	63
Figura 5.3 Camino a casa de máquinas en Toro 2, comparación en el tiempo comprendido entre 1994 a 2012.....	65
Figura 5.4 Talud en la tubería de alta presión, uso de pasto dulce para el control de erosión. Comparación en el tiempo de julio de 2011 a agosto de 2012	67
Figura 5.5. Deslizamiento en el talud producto de la lluvia que genera disminución en la resistencia del suelo.....	69
Figura 5.6. Uso combinado de biomantas y cespedones para control de erosión.	70
Figura 5.7 Estabilización mediante enrocado	71
Figura 5.8 Uso de la hidrosiembra para suelos difíciles.....	72
Figura 5.9 Talud con problemas de erosión.....	74

Figura 5.10. Problemas presentados en el talud producto de la erosión y poco mantenimiento.....	76
Figura 5.11 Vista en planta de los taludes en la ST Palmar Norte.....	77
Figura 5.12 Formación de cárcavas de erosión y bancos de sedimento que contaminan una quebrada.....	78
Figura 5.13. Construcción de cunetas y cajas de salida al pie de los taludes.....	79
Figura 5.14 Revegetación de taludes con zacate jengibrillo.....	80
Figura 5.15. Control de erosión con especies vegetales.....	81
Figura 6.1 Esquema del uso de la guía práctica.....	85
Figura 6.2 Elementos de arquitectura y paisajismo en el diseño de la revegetación.....	90
Figura 6.3 Mapa de la capacidad y uso del suelo.....	136
Figura 6.4 Mapa de distribución de cantones y zonas de vida para la provincia de San José.....	137
Figura 6.5 Mapa de distribución de cantones y zonas de vida para la provincia de Alajuela.....	138
Figura 6.6 Mapa de distribución de cantones y zonas de vida para la provincia de Cartago.....	139
Figura 6.7 Mapa de distribución de cantones y zonas de vida para la provincia de Heredia.....	140
Figura 6.8 Mapa de distribución de cantones y zonas de vida para la provincia de Guanacaste.....	141
Figura 6.9 Mapa de distribución de cantones y zonas de vida para la provincia de Puntarenas.....	142
Figura 6.10 Mapa de distribución de cantones y zonas de vida para la provincia de Limón.....	143
Figura 6.11 Mapa No 1 de especies vegetales para estabilización de taludes distribuidas por zonas de vida.....	144
Figura 6.12 Mapa No 2 de especies vegetales para estabilización de taludes distribuidas por zonas de vida.....	145
Figura 6.13 Mapa No 3 de especies vegetales para estabilización de taludes distribuidas por zonas de vida.....	146
Figura 6.14 Mapa No 4 de especies vegetales para estabilización de taludes distribuidas por zonas de vida.....	147

Índice de Cuadros

Cuadro 3.1. Zonas de vida para Costa Rica según el sistema de clasificación ecológica de Leslie Holdridge.....	26
Cuadro 3.2 Clasificación de la capacidad de uso del suelo, características y erosionabilidad	35
Cuadro 4.1. Identificación de los movimientos de laderas	45
Cuadro 4.2 Clasificación de las técnicas de bioingeniería del suelo y estabilización biotécnica.	47
Cuadro 4.3 Distancia entre fajinas dependiendo de la geometría del talud a tratar.	50
Cuadro 4.4 Distancias entre escalones de matorral.....	51
Cuadro 5.1 Taludes visitados a los diferentes proyectos del ICE.....	82
Cuadro 5.2 Algunas especies potenciales para la estabilización de taludes.....	84
Cuadro 6.1. Especies vegetales que cumplen con características para la estabilización de taludes.	94
Cuadro 6.2 Árboles y arbustos que pueden funcionar para estabilizar masas de suelo con superficies de falla a una profundidad aproximada de 2 a 3 metros.	107
Cuadro 6.3. Árboles y arbustos que pueden funcionar para estabilizar masas de suelo con una superficie de falla a una profundidad de 1 a 2 m.....	109
Cuadro 6.4 Hierbas y pastos para el control de erosión.....	113
Cuadro 6.5. Zonas de vida para cada uno de los distritos de Costa Rica	115
Cuadro 6.6. Especies seleccionadas y ubicadas por zona de vida	124

Silva Orozco, Aaron

Guía práctica para la estabilización de taludes en los suelos de Costa Rica utilizando vegetación nativa

Proyecto de Graduación – Ingeniería Civil – San José, Costa Rica

A. Silva O., 2013

xii, 155, [0]h; ils. Col. - 42 refs.

Resumen

Se propone una guía de manejo práctico para el uso de especies vegetales en las diferentes zonas ecológicas del país, cuyo propósito es la estabilización de la masa de suelo. Para la elaboración se consultaron diferentes instituciones y diversas áreas profesionales, que brindaron la información necesaria para la correcta manipulación de las especies vegetales. Se visitaron proyectos de ingeniería en los cuales se ha utilizado la vegetación como medida preventiva para el control de erosión, con el objetivo de brindar algunos consejos del cómo enfrentar situaciones semejantes para la estabilización de taludes.

Las especies que fueron seleccionadas para la estabilización de taludes fueron elegidas por consulta a ingenieros forestales, que se encontraban en cada una de las giras realizadas al campo por medio del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). Algunos de los resultados obtenidos también fueron consultados a botánicos y a profesionales del área de la biología, a los cuales se les expuso lo establecido en la teoría de los libros de la mecánica de suelos, referente al tema de la bioingeniería.

Se logra plasmar una guía práctica para la estabilización de taludes utilizando la vegetación, que es una metodología para desarrollar un proyecto de bioingeniería de suelos. Esta funciona de tal forma que el interesado recurra a elementos como la organización, el diseño, ejecución o implantación y mantenimiento del proyecto para su correcta realización. A.S.O

ESTABILIZACION DE TALUDES; USO DE ESPECIES VEGETALES; ZONAS DE VIDA; MECÁNICA DE SUELOS.

Ing. Sergio Sáenz Aguilar MSc.

Escuela de Ingeniería Civil

Capítulo 1

Introducción

1.1 Introducción

La presente investigación reúne experiencias en la realización de las giras a proyectos del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE); así como teorías funcionales de áreas de la ingeniería, botánica, agronomía entre otras.

El resultado tanto de las giras como de las consultas a fuentes bibliográficas, es proponer la escogencia de especies forestales y herbáceas que cumplan con el propósito de estabilizar la masa de suelo y controlar la erosión superficial.

La selección de las especies fue realizada considerando características que se ajustaran a la teoría, pero que a su vez no generen impactos ambientales. Esto se logra seleccionando especies de origen nativo o que se hayan adaptado a nuestro país en un lapso muy largo de tiempo.

Se describen además las condiciones ambientales en las cuales las especies tengan un buen desarrollo y se brindan algunas recomendaciones para el tratamiento de taludes mediante la utilización tanto de bioingeniería de suelos, como la biotecnología. Además se exponen algunas situaciones problemáticas y se dan algunas soluciones en cuanto al uso de las especies vegetales para la estabilización de taludes.

También se comparan especies observadas en las giras con especies cuya descripción teórica funcionan para la estabilización acorde a sus características mecánicas e hidrológicas. De esta manera se intentó no descartar especies que tengan un buen potencial para la estabilización, a pesar de no poseer una descripción teórica que las sustente. Se comparan también algunos costos entre técnicas convencionales de estabilización de taludes y las plantaciones, no con el objetivo de sustituir las técnicas convencionales de la geotecnia, sino para el uso de la vegetación como medida preventiva.

El funcionamiento de la guía práctica tiene como objetivo el lograr que las especies vegetales funcionen para el anclaje de la masa de suelo y el control de erosión.

1.2 Justificación

1.2.1 El problema específico

Normalmente la estabilización de taludes en Costa Rica se lleva a cabo mediante el uso de métodos convencionales de costos usualmente elevados y que a la vez impactan en su mayoría de manera muy significativa al ambiente; ya que se utilizan materiales artificiales como el concreto, acero entre otros.

La estabilización de taludes mediante la vegetación es una práctica poco común en nuestro país. Actualmente en nuestro país se usa vegetación que no es propia de la zona, como lo es el vetiver. No obstante la introducción de especies foráneas puede afectar al ambiente con la proliferación de plagas o fauna distinta a la que comúnmente se encuentra en la zona. Esto puede afectar el microclima de una región. Por el contrario si se utiliza la vegetación autóctona se logra disminuir tanto el impacto de los métodos convencionales como el impacto que pueden generar otras especies que no sean nativas.

La deforestación es uno de los causantes de la inestabilidad de taludes, pues se elimina el refuerzo que le transmiten las raíces al suelo y también el drenaje natural que éste involucra.

1.2.2 Importancia

Mediante el uso de buenas técnicas se puede lograr que la vegetación sea un refuerzo natural para la estabilización en los taludes, disminuyendo el impacto ambiental en gran medida. Por ello se debe buscar una vegetación que sea nativa de las diferentes zonas ecológicas del país.

Costa Rica a nivel mundial es famosa por su gran biodiversidad de flora y fauna, por ello surge la idea de utilizar esta flora para desarrollar una investigación de la misma para propósitos ingenieriles como lo es la estabilidad de taludes. Al ser un país con abundancia ecológica es de suponer que exista vegetación propia de cada zona del país que pueda suplir las necesidades de los proyectos. Además se sabe que la deforestación es una problemática que se puede solucionar revegetando las zonas destruidas. Por esta razón que se puede estabilizar las zonas impactadas con buenas técnicas de siembra que ayuden tanto a crear

una belleza escénica como a conseguir un refuerzo natural que controle tanto la erosión como la estabilidad de los taludes.

En los proyectos de ingeniería es muy común observar que se elimine la vegetación, que en ocasiones afecta la estabilidad de las laderas. Mediante técnicas adecuadas y dependiendo del tipo de zona se puede lograr que la vegetación tenga un rol fundamental para el control de la estabilidad de laderas mediante buenas prácticas de siembra. Estas dependen tanto de la especie vegetal como tipo de suelo y las características del talud (pendiente, especie vegetal que se puede cultivar etc).

El uso de la vegetación nativa para estabilizar taludes tiene grandes ventajas como ya se ha mencionado en cuanto a costos e impacto ambiental. Por lo tanto al generar muchos beneficios y no ser un método muy utilizado, debería de dársele más énfasis al tema, en un mundo que sufre de muchos impactos ambientales, como lo es el efecto invernadero y la destrucción de la capa de ozono.

1.2.3 Antecedentes teóricos y prácticos del problema

- Holdridge, L. (1967) clasifica las diferentes áreas del mundo, desde el ecuador hasta los polos (regiones latitudinales) y desde el nivel del mar hasta las nieves perpetuas (pisos altitudinales). Éste autor expresa el concepto de zona de vida el cual es un grupo de asociaciones vegetales dentro de una división natural del clima, las cuales tomando en cuenta las condiciones edáficas y las etapas de sucesión, tienen una fisonomía similar en cualquier parte del mundo.
- Gray y Leiser (1982) describen como la vegetación puede ayudar a solucionar problemas de inestabilidad de taludes, ya que las raíces de las plantas sirven como drenes horizontales además como mecanismo de refuerzo para sostener el talud.
- O'Loughlin y Pearce (1976) detalla como la remoción de la vegetación en los taludes aumenta las posibilidades de deslizamientos.
- La publicación "Biotechnical stabilisation of cut and fill slopes" de los autores Gray, D.H., Sotir. R.B. (1992): mencionan los factores más importantes que produce la vegetación para la estabilidad de laderas, además describen el uso de piedra conjuntamente con vegetación para la estabilización de un talud, en el cual la vegetación ayudó a retener los bloques de roca y al mismo tiempo reforzar el talud.

- El trabajo final de graduación "Guía práctica para el control de erosión superficial en los suelos de Costa Rica utilizando vegetación nativa" de Denia Fernández (2011), el proyecto expone como controlar la erosión utilizando la vegetación propia de cada zona de vida del país, además del uso de dispositivos artificiales (biomantas) que ayuden a controlar el fenómeno.
- El documento "Vegetation and Slope Stability" del autor Greenway (1987): reporta que la capacidad de una planta para consumir humedad del suelo depende del tipo y tamaño de la especie, clima, factores ambientales y características del suelo.
- El trabajo final de graduación "Efecto de las raíces sobre la resistencia al corte en suelos" de Andrés Quirós (2012), el proyecto describe que la vegetación tiene aspectos positivos para la protección de taludes ante deslizamientos por el efecto de las raíces de alta fibrosidad.
- El trabajo final de graduación "Uso de la vegetación para la estabilización de taludes" de Gustavo Porras (2000), describe el uso de técnicas de bioingeniería de suelos y estabilización biotécnica de taludes de una manera esquemática para resolver problemas de estabilidad en nuestro país.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Elaborar una guía práctica para estabilizar taludes en los suelos de Costa Rica mediante el uso de vegetación nativa.

1.3.2 Objetivos Específicos

- ✓ Seleccionar especies de vegetación nativa de cada zona de vida de Costa Rica, que sean eficientes para la estabilización de taludes.
- ✓ Analizar y describir a nivel general variables hidrológicas y mecánicas de cada tipo de especie seleccionada, que cumplan con una función de estabilizar taludes.
- ✓ Brindar recomendaciones de las técnicas de siembra necesarias para estabilizar los taludes de acuerdo con sus características.
- ✓ Realizar giras de campo en las cuales se observe la vegetación utilizada para estabilizar taludes; así como la metodología empleada y verificar si cumple o no con características similares a la vegetación nativa correspondiente a la zona de vida.

1.4 Delimitación del problema

1.4.1 Alcance

El proyecto se restringe a seleccionar las especies de vegetación que tengan características idóneas para la estabilización de taludes. No se tomaron en cuenta especies que no sean conocidas o de las que se tenga poca información. Se recomendó la vegetación óptima por zona de vida de Costa Rica; así como las técnicas más utilizadas para un buen desempeño de la vegetación ante los deslizamientos.

Este proyecto interpreta y valida el comportamiento de las diferentes especies de vegetación ante deslizamientos de manera cualitativa; es decir, los cálculos de la resistencia al corte de las raíces quedan por fuera de la investigación (solo se usarán para análisis y descripción en caso de que existan datos de fuentes secundarias) y por ende no se harán pruebas de laboratorio.

Las especies seleccionadas serán incluidas en las zonas de vida según la metodología desarrollada por el científico (Holdridge L., 1967). Existen más sistemas de clasificación que no serán tomados en cuenta, debido a que no son comunes en nuestro país.

1.4.2 Limitaciones

No se realizaron ensayos de laboratorio para comprobar la resistencia al esfuerzo cortante en las raíces de las especies vegetales para la descripción y análisis del funcionamiento mecánico.

No se determinaron parámetros hidrológicos de las especies recomendadas debido a disponibilidad de tiempo pues son muchas las especies.

La información disponible de las especies vegetales de Costa Rica depende del INBio (Instituto Nacional de Biodiversidad) y de otras instituciones, que llevan el control de las mismas, por ende si se descubre la existencia de nuevas especies que sean eficientes para la estabilidad de taludes posteriores a la investigación no se tomarán en cuenta por razones obvias.

Las giras de campo dependieron de la disponibilidad de proyectos que existen o que se hayan construido en el país.

1.5 Metodología

La metodología a seguir para la elaboración del proyecto se muestra en la figura 1.1:

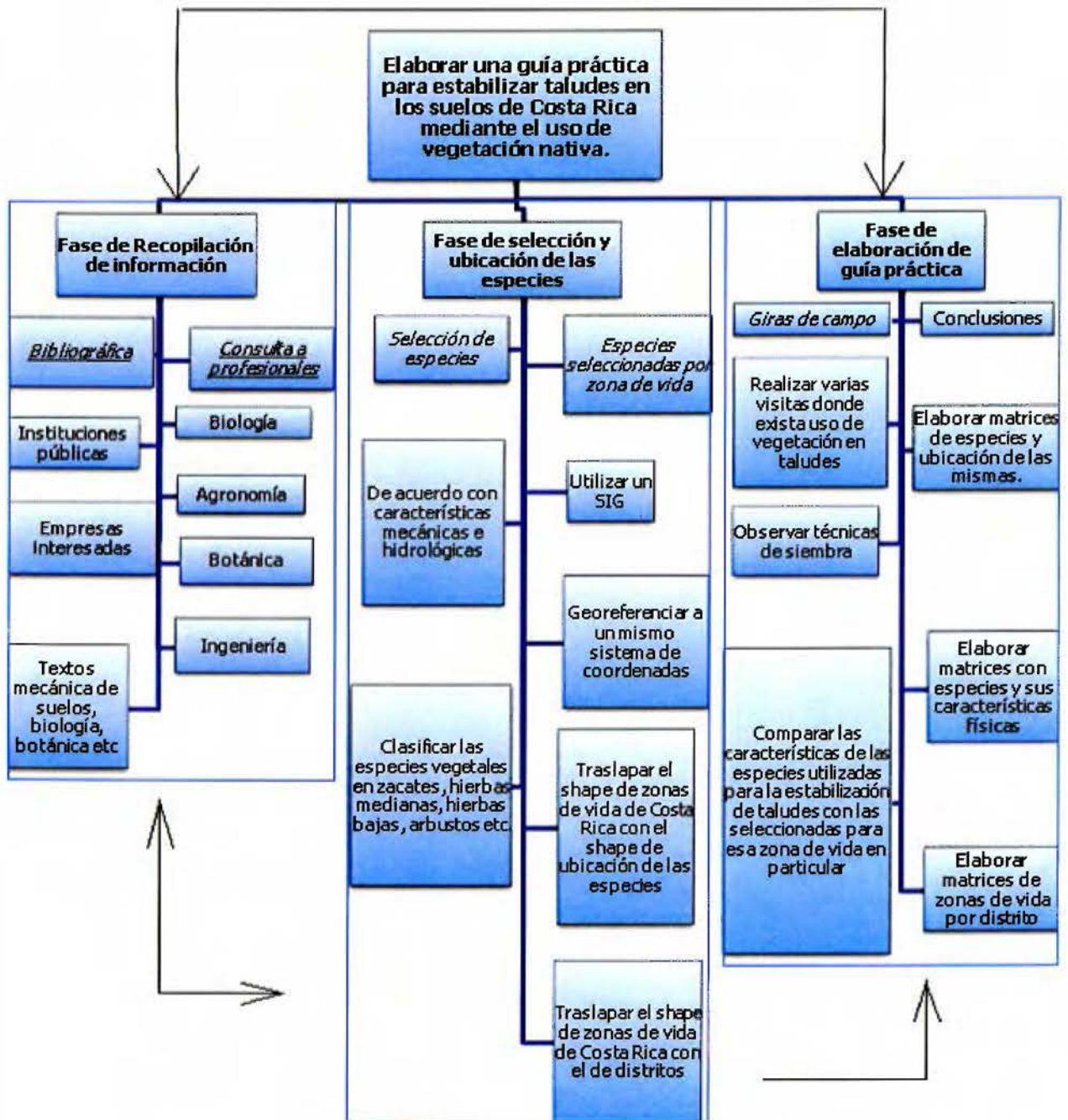


Figura 1.1 Metodología del proyecto
Fuente: Silva, 2011

El proyecto se divide en tres etapas o fases que son las siguientes:

Recopilación de información: mediante visitas a instituciones como INBio (Instituto Nacional de Biodiversidad), el MAG (Ministerio de Agricultura y Gandería), el ICE (Instituto Costarricense de Electricidad), etc. Se recopiló información de las especies de vegetación en Costa Rica. Conforme se avanzó en el trabajo se consultó a diferentes profesionales en las ramas establecidas en el organigrama, pues todos ellos se relacionan con la selección de las especies que es la siguiente fase del proyecto. Se consultó también libros o publicaciones relacionados a la mecánica de suelos referente a la estabilidad de taludes; así como textos relacionados a la estabilidad de laderas utilizando vegetación.

Selección y ubicación de las especies: una vez recopilada la información sobre las especies existentes en Costa Rica, se procedió a seleccionar las más aptas para cumplir con las condiciones hidrológicas y mecánicas necesarias para estabilizar una ladera. Después de realizada esta selección, se procedió a clasificarla de acuerdo con sus características propias en hierbas, arbustos, etc.

Una vez obtenida la vegetación que es eficiente para controlar la estabilidad, se procedió a clasificar la misma de acuerdo a la zona de vida al cual pertenezca. Esto se logró con un Sistema de Información Geográfica (SIG), en que se clasificó la ubicación de los distritos dentro de cada una de las zonas de vida de Holdridge; así como la ubicación de las plantas tanto en cada zona de vida, como en los diferentes distritos.

Para la fase de elaboración de la guía práctica se hicieron giras a campo para observar cómo funcionan en el país las técnicas de siembra utilizadas para estabilizar taludes. Se compararon costos de algunos métodos convencionales, para determinar algunas ventajas y desventajas de los métodos utilizados. Posteriormente se obtuvieron las matrices finales de costos, características físicas de las plantas y de ubicación de las especies.

Capítulo 2

Selección de especies vegetales que cumplen con características necesarias para la estabilidad de taludes

Para analizar los efectos que tiene la vegetación en la estabilidad de taludes es necesario conocer algunas características de las especies vegetales como lo son: el volumen y densidad del follaje, el tamaño, el ángulo de inclinación y aspereza de las hojas, altura total de la cobertura vegetal, tipo, forma, profundidad, diámetro, densidad, cubrimiento y resistencia del sistema de raíces (Suárez, 1998). La parte central de la investigación reúne algunas de estas características, pues no se tiene una base de datos en el INBio o en alguna otra institución que reúna todas esas condiciones.

2.1 Clasificación general de las especies vegetales

Para elegir las especies más aptas para la estabilización de los taludes es necesario tener claro conceptos que involucran el área de la biología denominada botánica. La taxonomía es la parte de la botánica que se ocupa de la ordenación o clasificación de las plantas; así como de las bases, principios, métodos y normas o leyes que regulan dicha clasificación. Es importante señalar que dicha clasificación se refiere a la ordenación de los seres vivos en jerarquías de clases. A los distintos niveles de jerarquías de una clasificación se les denominan categorías taxonómicas, y los grupos que se forman en una clasificación, se les llaman taxones o grupos taxonómicos. (Jesús Izco et al, 2004)

Las categorías usadas en la botánica se dividen en 12 jerarquías, que por orden decreciente son: reino, división, clase, orden, familia, tribu, género, sección, serie, especie, variedad y forma. A continuación se explican las de mayor relevancia de acuerdo con su rango jerárquico:

Reino: es cada una de las grandes subdivisiones en que se consideran distribuidos los seres vivos, por razón de sus caracteres comunes. Existen cinco reinos del cual la investigación se centra en el de las plantas.

División: se utiliza para subdividir el reino vegetal y también el reino de los hongos. Para el reino animal y el reino protista se utiliza el término filo, que es equivalente.

Clase: son grupos artificiales formados por los géneros que resultaban agrupados al aplicar un sistema de clasificación artificial, se puede definir también como la categoría taxonómica que comprende varios órdenes de plantas con muchos caracteres comunes.

Orden: es la unidad sistemática entre la clase y la familia. Sin embargo, en sistemática antigua, era sinónimo de familia. En zoología, es una de las categorías taxonómicas de uso obligatorio, según el Código Internacional de Nomenclatura Zoológica. En taxonomía antigua era sinónimo de familia.

Familia: es una unidad sistemática y una categoría taxonómica situada entre el orden y el género; o entre la superfamilia y la subfamilia si estuvieran descritas.

Género: es un grupo natural, formado por el conjunto de sus especies.

Especie: Una especie se define a menudo como grupo de organismos capaces de entrecruzarse y de producir descendencia fértil. Es un grupo de poblaciones naturales cuyos miembros pueden cruzarse entre sí.

Variedad: es un grupo encontrado dentro de la población en general de una especie.

Forma: es una modificación ocasional de la especie, la cual se puede relacionar o no con la distribución geográfica

Se han definido 8 de las 12 jerarquías taxonómicas debido a que son las de mayor relevancia no obstante este grupo se puede reducir aún más debido a que las jerarquías más utilizadas son las de familia, género y especie.

La nomenclatura de las especies vegetales se define de acuerdo con normas que rigen dentro de cada jerarquía taxonómica y es de esta manera como se especifica el nombre científico, el cual es en latín y con dos palabras que se refieren a dos taxones, el primero indica el género,

y el segundo indica la especie. Si se tienen problemas utilizando el género o la especie se pueden utilizar otras jerarquías como las descritas. Para la asignación y control de los nombres científicos se debe seguir el Código Internacional de Nomenclatura Botánica para plantas.

2.2 Selección de las especies de acuerdo con las características mecánicas a nivel cualitativo.

Para la escogencia de las especies de vegetación que pueden estabilizar laderas, es primordial conocer las características del sistema mecánico que proporciona la vegetación al suelo. Se sabe que las especies de vegetación más estudiadas a nivel mundial, son aquellas que tienen propósitos comerciales que por lo general son para usos ya sean comestibles, medicinales u ornamentales. Para la presente investigación se cuenta con pocos estudios por parte de los botánicos de los sistemas radicales de la vegetación. Sin embargo, existe información escasa de algunas especies. Por ello, se escogen especies con características mecánicas e hidrológicas que sean funcionales para la prevención de deslizamientos, especialmente el tipo de raíz, que tienen función de anclaje.

2.2.1 Raíces como mecanismos de refuerzo de los taludes

Las raíces son por excelencia la parte de la planta que brinda el sistema mecánico más eficiente para la estabilidad de los taludes. Por ello es necesario conocer algunas de sus características, que se pueden agrupar en tres grandes tipos como se muestra en la figura 2.1 y se explican a continuación:

➤ *Raíz Lateral*

Raíces que se extienden de manera muy superficial en el suelo.

➤ *Raíz Radial*

En este tipo de sistema la extensión lateral es mayor que la profundidad y en ocasiones superan los 50 m de longitud. (Suárez, 1998)

➤ Raíz vertical o pivotante

Consiste en una raíz vertical profunda, que tiene ramificaciones pequeñas. Por lo general las raíces pivotantes tienden a alcanzar mayores profundidades que las laterales y las radiales. Por ende son más usadas para la estabilización de deslizamientos poco profundos.

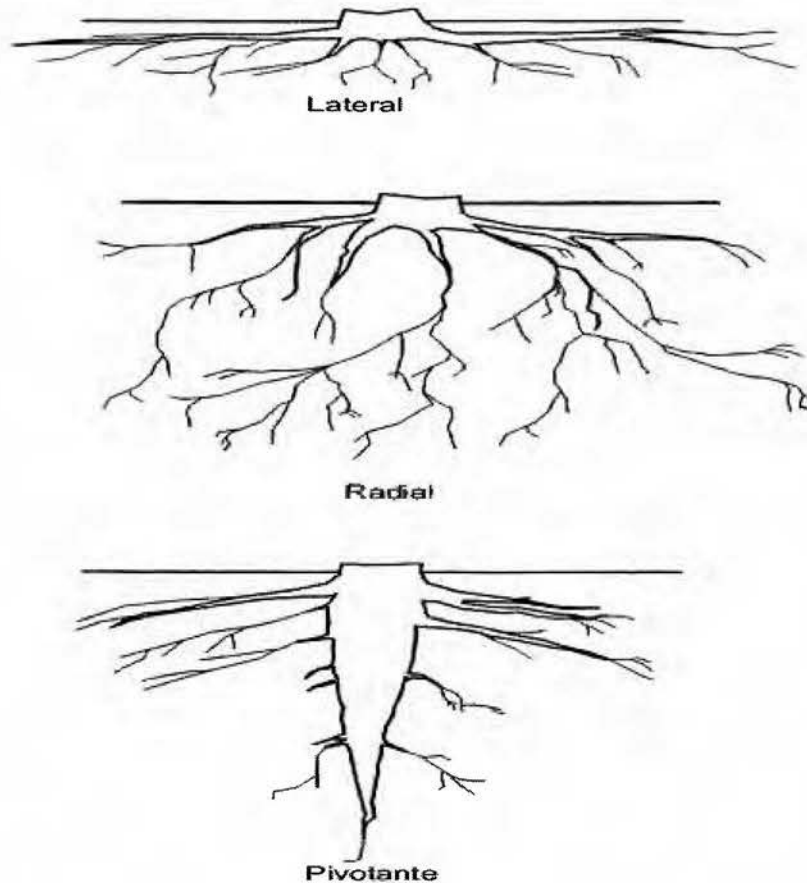


Figura 2.1. Tipo de raíces
Fuente: Suárez, 1998

Uno de los aspectos que tiene mayor influencia en la resistencia del sistema mecánico entre la raíz y el suelo es la densidad de raíces. Las raíces con diámetro menor a 20 mm son más eficientes para la estabilización de un talud que aquellas que tienen mayor diámetro a los 20 mm. (Leventhal y Mostyn, 1987).

Según varios autores, la resistencia promedio a la tensión de las raíces puede variar entre 90 kg/cm² a 490 kg/cm², sin embargo estos valores son arrojados con porcentajes de error

bastante elevados, ya que depende de muchos factores externos tanto a la hora de hacer las pruebas como en el ambiente natural. En el caso de las pruebas de laboratorio se dificulta debido a que las mordazas se sueltan de la raíz, y en el caso de los factores externos naturales la resistencia puede variar dependiendo por ejemplo de la inclinación de las raíces en el plano de falla del suelo, la edad de la especie vegetal, sus condiciones ambientales como el clima, humedad etc. (Burrough y Thomas , 1977; Gray ,1978; Turmanina, 1965)

Las raíces verticales o pivotantes son las mejores para estabilizar un talud debido a que se anclan a la superficie de falla y amarran la masa de suelo. Prueba de ello es que éstas pueden tener una resistencia a la tensión hasta de un 30% de la del acero. (Schiechtl, 1980).

Existe una clasificación de refuerzo en los taludes (Tsukamoto y Kusakabe, 1984), en la cual se dividieron de acuerdo con sus características físicas, como el tipo de capas del talud y la profundidad de las raíces en las capas. De acuerdo con su clasificación, se dividen en 4 tipos que se muestran en la figura 2.2 y se explican a continuación:

➤ Talud tipo A

En este tipo de taludes la capa del suelo es delgada y se encuentra sobre roca masiva sana y por ende permite una superficie de falla potencial entre el suelo y la roca. Las raíces en este tipo de talud no están ancladas.

➤ Talud tipo B

El talud tipo B tiene roca fracturada por debajo de una capa delgada de suelo, estas fracturas permiten que las raíces se anclen y por ende sostengan la masa de suelo

➤ Talud tipo C

Existen en él varias capas de suelo, las raíces se encuentran en dos o más capas de suelo, esto permite que el suelo se refuerce entre las capas.

➤ Talud tipo D

Son taludes en los cuales existe una capa gruesa de suelo, en donde las raíces se encuentran por encima de la superficie de falla es decir no la cruzan.

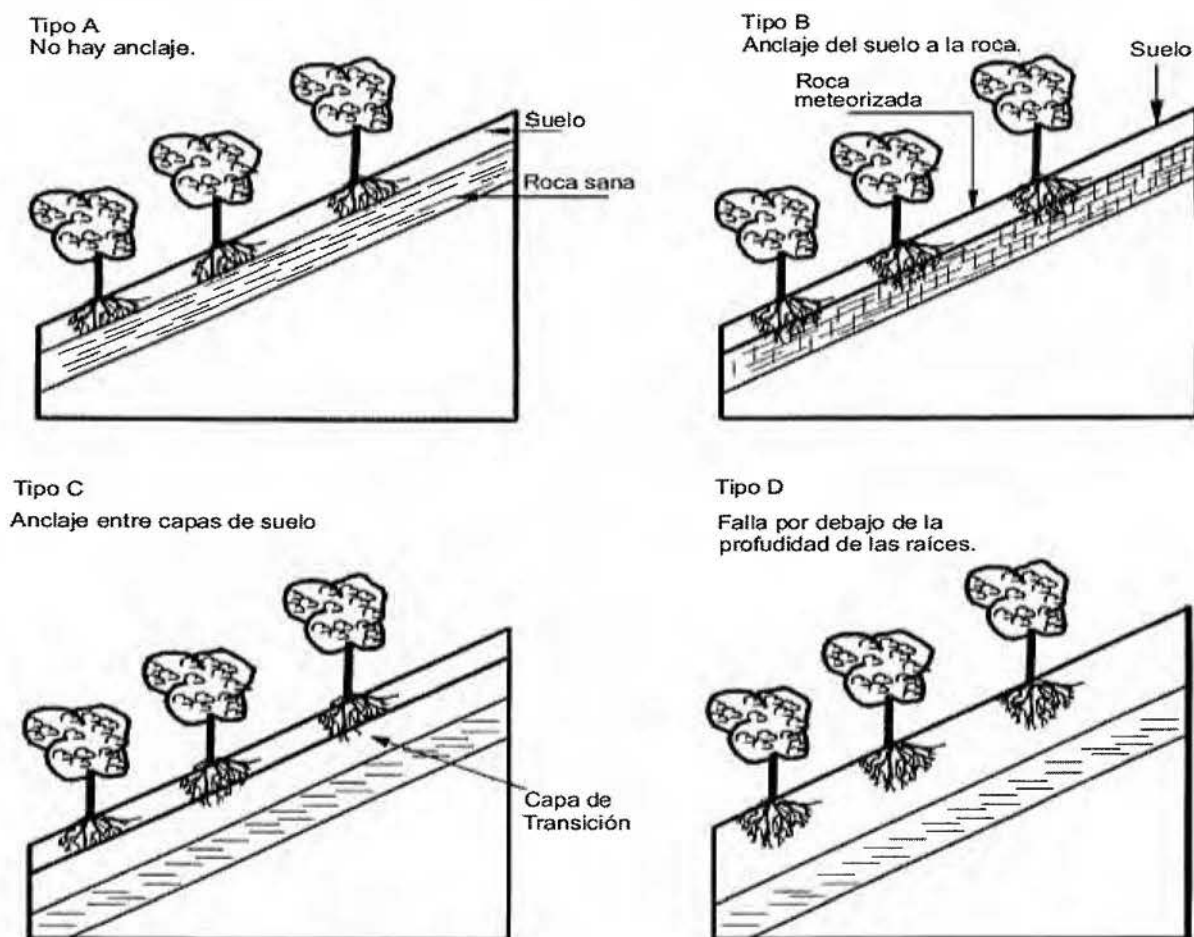


Figura 2.2. Tipos de anclaje a la superficie de falla por acción de las raíces
Fuente: Suarez, 1998

Es de suma importancia para estabilizar el talud tener un espaciado entre los árboles que sea cercano; aproximadamente una distancia de 10 metros entre los árboles produce el soporte necesario. (Gray, 1978).

2.2.2 Sistema suelo raíces y análisis en la estabilidad de los taludes.

El autor (Yagi, 1994), realizó investigaciones en Japón donde el factor de seguridad en taludes aumentó entre un 10 a un 13.5%, en taludes con altos niveles de densidad de vegetación. Por otro lado (Greenway, 1987) señala que el aumento en el factor de seguridad en un talud con árboles de aproximadamente 10 m de altura y 3 m de profundidad de raíces es de un 33%. Este porcentaje es basado en el método de análisis de Janbú. Para este caso

el análisis se realizó para superficies de falla entre 1.0 m a 2.5 m. Analizando en términos generales, se puede concluir que el aumento en el factor de seguridad para superficies de falla a 2m de profundidad tiene valores inferiores al 30%. En los casos en los que la superficie de falla sea más profunda el incremento en el factor de seguridad es menor. Para los taludes cuya superficie de falla sea de 5 m o más, el aumento en el factor de seguridad es despreciable, debido a que las raíces de los árboles usualmente no tienen esas longitudes.

Para un análisis de estabilidad de laderas se pueden citar dos tipos de factores, los condicionantes que se refieren a las características propias de la ladera como su resistencia y el valor de los esfuerzos en la misma y los factores desencadenantes, que son aquellos que modifican a los condicionantes. Estos últimos provocan un cambio en las características propias del talud ya sean de resistencia o de esfuerzos. Los factores desencadenantes pueden por ejemplo modificar el contenido de humedad, la densidad de vegetación y la pendiente, por ende se rompe el equilibrio estático existente.

La resistencia al corte para un talud puede determinarse según la ley de Coulumb

$$S = C + \sigma \tan \phi \quad \text{Ec. 2-1}$$

Donde

S = Resistencia al corte

C = cohesión interna del suelo

σ = esfuerzo efectivo

ϕ = ángulo efectivo de fricción interna

Cuando se rompe el equilibrio estático, la raíz se deforma en el plano de falla, actuando como refuerzo desarrollando resistencia a la tracción, que hace que se evite el rompimiento de la raíz y al mismo tiempo retarda falla la del suelo. Se han desarrollado modelos teóricos que explican el comportamiento de las raíces cuando el suelo es sometido a esfuerzos cortantes. Algunos de ellos sugieren que las fuerzas de tensión son resueltas en una componente tangencial que resiste directamente al cortante, y una componente normal o perpendicular que incrementa la concentración del esfuerzo en el plano de cortante, y que tiene que ver con la unión que favorecen las raíces del conjunto del suelo. (Gray y Leiser, 1982)

Cuando una raíz cruza el plano de corte se ve afectada por una fuerza de tensión por unidad de superficie de suelo (t_r). Esta fuerza se descompone en una paralela y en otra

perpendicular al plano de corte $\sigma_r = (tr)\text{sen}\beta$ y $\tau_r = (tr)\text{cos}\beta$, por lo tanto σ_r incrementa el esfuerzo normal, que a su vez incrementa la componente friccional. (Gray y Leiser, 1982)

El incremento de la resistencia al corte debido a las raíces (ΔS) es función de la resistencia a la tracción de las raíces o fuerza promedio de las raíces a la tensión, y una relación de áreas existente entre el área efectiva de las raíces que cruzan la superficie de corte y al área total de la superficie de falla. Como ya se había mencionado con anterioridad la inclinación de las raíces (β) con respecto a la superficie de falla también influye en la resistencia al corte del suelo. Se puede generalizar entonces la siguiente ecuación: (Gray y Leiser, 1982)

$$\Delta S = t_R[\text{cos}\theta\text{tan}\phi + \text{sen}\theta] \quad \text{Ec. 2-2}$$

Donde:

ΔS = incremento de la resistencia al corte debido a las raíces o fibras de refuerzo en kg/cm^2 .

t_R = resistencia media a la tensión de las raíces o fibras por unidad de superficie de suelo.

θ = es el ángulo de distorsión de las raíces que se encuentran en la zona de cortante

ϕ = ángulo de fricción interna del suelo.

La ecuación 1-3, destaca la contribución máxima de las raíces para la resistencia del suelo. Esta se obtiene al medir la resistencia a la tensión por unidad de área y una relación de áreas.

Utilizando la ecuación 1-2, (Wu, 1976), observa que el ángulo de distorsión de las raíces en la superficie de falla se encuentra entre los 45 y 75 grados. Además, concluyó que el término entre paréntesis de la ecuación 1-2, es muy poco variable a diferentes rangos tanto del ángulo de fricción interna, como el ángulo de distorsión de las raíces. Por tanto, determina que el término entre paréntesis tiene una variación entre 1.0 a 1.3. Decide entonces, que el máximo incremento en la resistencia al corte para un suelo reforzado con raíces, puede ser estimado a un promedio del rango como se describe a continuación mediante las siguientes ecuaciones:

$$\tau_r = t_R \left(\frac{A_r}{A} \right) \quad \text{Ec. 2-3}$$

$$\Delta S = 1.15\tau_r \quad \text{Ec. 2-4}$$

Donde:

ΔS = Incremento de la resistencia al corte debido a las raíces o fibras de refuerzo.

A_r = área efectiva de las raíces en la superficie de falla.

A = área total de la superficie de falla o corte.

t_R = resistencia media a la tensión de las raíces o fibras por unidad de superficie de suelo.

Un aspecto muy importante es que la resistencia al corte de las raíces no es constante, pues depende de lo maderables que ellas sean, esto quiere decir que depende del desarrollo de su duramen, médula y albura que conforman el xilema (tejido vegetal leñoso de conducción que transporta líquidos de una parte a otra de las plantas vasculares).

Estudios realizados con diferentes especies de vegetación por ejemplo el eucalipto sobre un talud, han demostrado que se puede aumentar la resistencia en un 65% utilizando este árbol. De la misma manera se ha conseguido elevar la resistencia al corte de un suelo en un 111% utilizando pino; estos porcentajes son comparando la resistencia del suelo sin refuerzo vegetativo y con vegetación. Además en el estudio realizado se observa que se aumenta la resistencia de manera más significativa cuando la densidad de raíces es alta es decir cuando hay mucha raíz con diámetros pequeños que cruzan la superficie de falla (González, 1995).

En la figura 2.3 se muestra como se incrementa el esfuerzo a la rotura a medida que se tienen raíces con diámetros más pequeños. Por otra parte en la figura 2.4 se observa que la vegetación tiende a deformarse más con diámetros menores.

En Costa Rica no se conocen las características físicas de las raíces de las especies nacionales en cuanto a diámetro y extensión longitudinal. Por esta razón se optó por escoger las especies cuya raíz se desarrollara de manera vertical, ya que se conoce que es el tipo de raíz que más se extiende hacia la profundidad del suelo.

Existe una relación clara entre la altura del árbol u arbusto a partir del suelo, y la extensión de las raíces en la profundidad. Sin embargo, no se han hecho estudios en dicho tema en el cual se reflejen longitudes promedio para las diferentes especies. Esto se debe a que existen regulaciones para los estudiosos de la botánica en cuanto a protección al medio ambiente en donde un estudio de este tipo involucraría la destrucción del mismo.

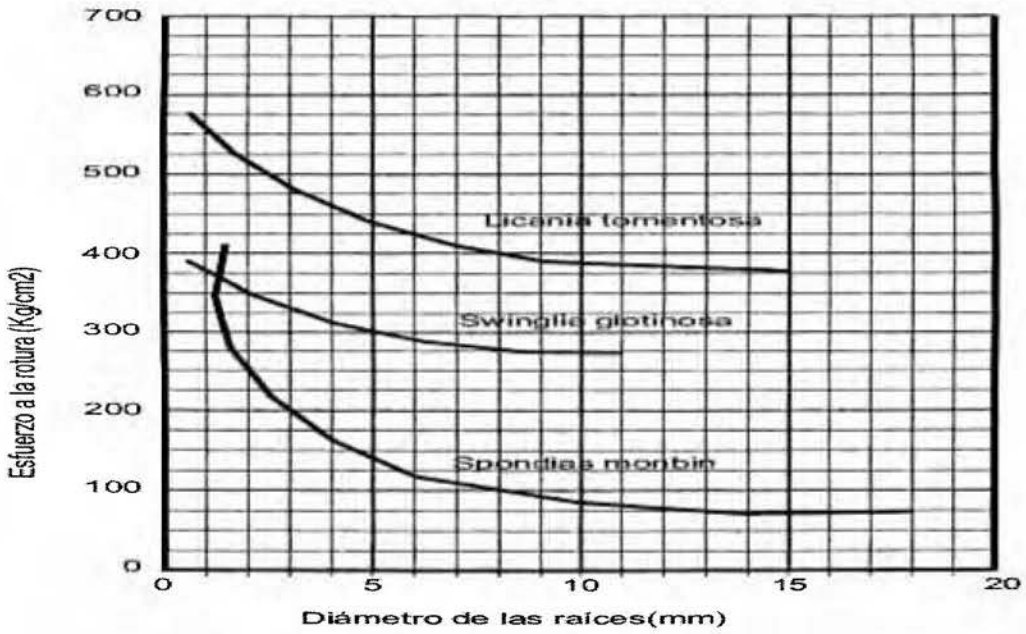


Figura 2.3. Diámetro y resistencia de algunas especies vegetales.
Fuente: Suárez, 1998

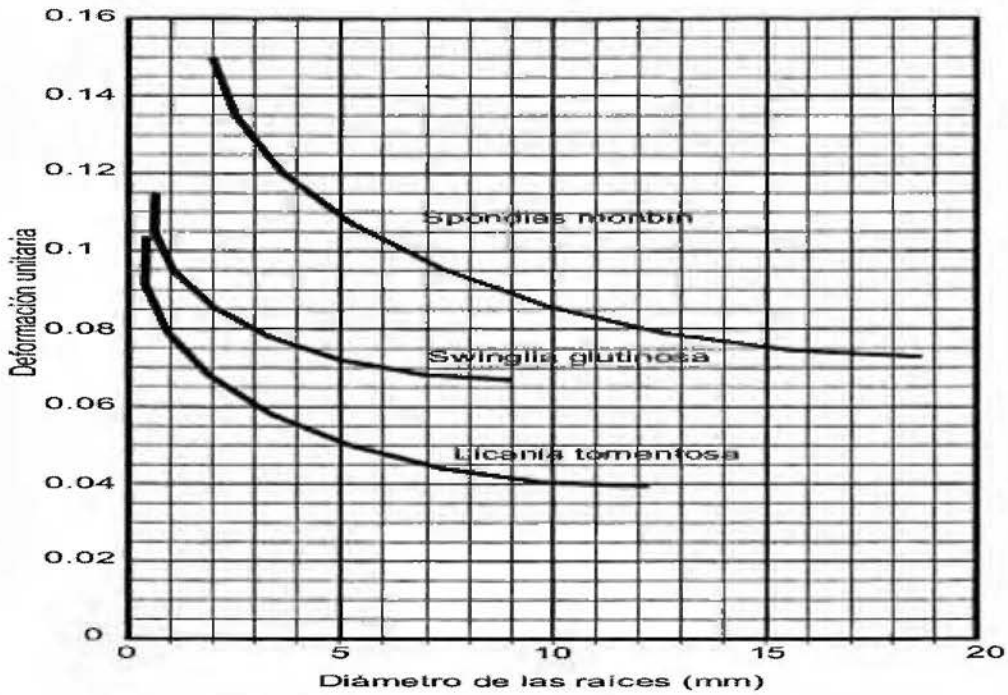


Figura 2.4 Deformación unitaria de algunas especies vegetales.
Fuente: Suárez, 1998

2.3 Selección de las especies de acuerdo con las características hidrológicas a nivel cualitativo.

En la sección anterior se mencionan las raíces que brindan un sistema mecánico eficiente para estabilizar un talud. La vegetación tiene otras partes que tienen una función primordial para su supervivencia y al mismo tiempo para propósitos ingenieriles. Es de suma importancia saber las características de las especies a escoger no solo por sus raíces; sino también por la cobertura vegetal en la superficie.

2.3.1 Efectos hidrológicos

A continuación se especifican algunos efectos hidrológicos debidos a la vegetación que de acuerdo a las características serán utilizadas para la escogencia.

➤ Intercepción de la lluvia

La intercepción de la lluvia ocurre cuando el follaje y los residuos de la vegetación absorben la energía de la lluvia y previenen la compactación del suelo por el impacto de sus gotas sobre la superficie.

Según (Styczen y Morgan, 1996) la lluvia se divide en dos partes, la lluvia que cae directo en el suelo y la lluvia que es interceptada por el follaje de la vegetación. De esta forma se puede aproximar la lluvia que es interceptada por la cobertura vegetal con una simple ecuación

$$\text{Lluvia interceptada} = \text{Lluvia} \times \% \text{área follaje} \quad \text{Ec. 2-5}$$

➤ Retención de agua

La retención de agua disminuye la escorrentía superficial lo que evita en gran medida la erosión en el talud; no obstante puede aumentar la tasa de infiltración dependiendo del tipo de vegetación, así como la intensidad de la lluvia. Los árboles de mayor tamaño o densidad de follaje, hacen que el ciclo hidrológico sea más lento ya que retienen por más tiempo las gotas de lluvia.

➤ Acumulación de agua

El agua se acumula en el follaje y posteriormente es evaporada. Este es un parámetro difícil de determinar pero existen especies con las cuales se tiene bastante experiencia como por ejemplo el maíz ya que tiene almacenamientos para guardar agua.

➤ Goteo o flujo por el follaje

El agua cae a la tierra a través de la vegetación por goteo o flujo. La velocidad con que ésta caiga dependerá de la aspereza de la superficie de las hojas, el tronco y también dependerá de los diámetros y la inclinación de las hojas con respecto a la vertical.

➤ Evapotranspiración

El efecto de la evapotranspiración es disminuir la humedad del suelo, ya que es el efecto combinado de la evaporación y la transpiración de la vegetación. Para el caso de Costa Rica al ser zona tropical los volúmenes de evapotranspiración son altos según Schiechl (1980).

En la figura 2.5 se muestran el proceso producto de los efectos hidrológicos que genera la vegetación.

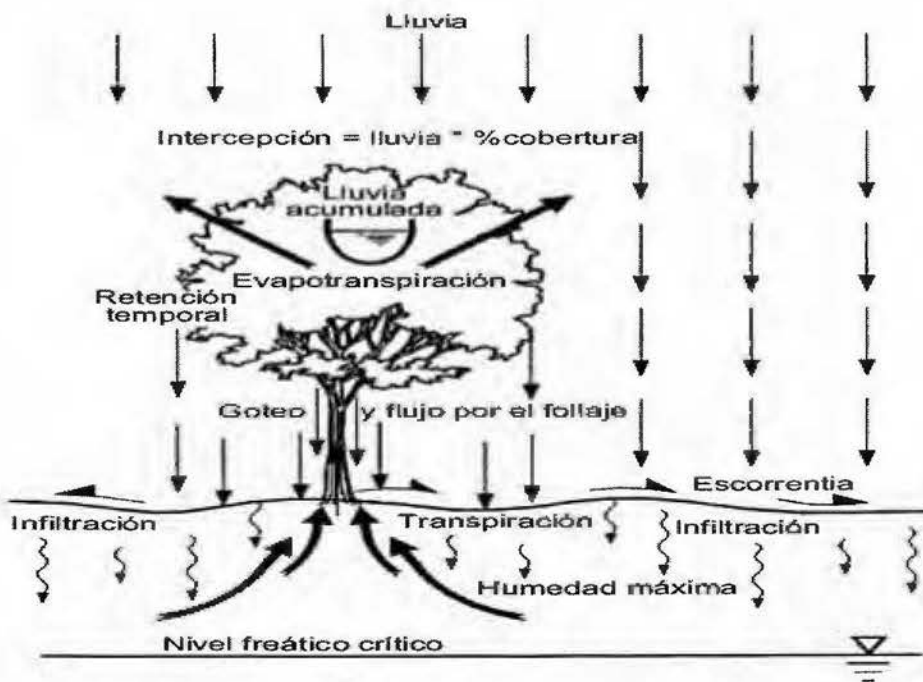


Figura 2.5. Efectos que genera la vegetación en el modelo hidrológico.
Fuente: Suárez, 1998

2.3.2 Factores que afectan la absorción del agua

Se pueden citar dos grandes grupos que afectan la absorción del agua

- 1- Los que afectan a la fuerza impulsora ó diferencia de potencial hídrico entre la masa del suelo y la superficie de la raíz hacia las raíces y a través de los tejidos radicales hasta el xilema
- 2- Las que afectan a la resistencia al movimiento del agua en el suelo y a través del las raíces.

Los factores más comunes dentro de estos grupos que afectan la absorción son la aireación del suelo, temperatura y el grado de la madera de las raíces para convertirse en corcho; lo que se denomina suberificación.

Existen grandes diferencias entre especies en lo que respecta a profundidad, la extensión y la cantidad de bifurcaciones, y por lo tanto la extensión de la superficie de las raíces. Cabe destacar que los árboles frutales cuyas raíces son extensas pueden absorber el agua a una distancia de 6 m a 7 m de distancia.

Las especies vegetales con raíces profundas suelen sobrevivir a sequías que causan serios problemas a las especies con raíces superficiales.

En las especies de vegetación es necesario definir el término resistencia a la sequía que es muy relevante en la investigación, pues involucra que las especies permanezcan vivas en el talud a pesar de las vicisitudes que pueda presentar. La resistencia a la sequía son los distintos medios por los cuales las plantas sobreviven a periodos de tensión hídrica ambiental, ya sea porque su protoplasma es capaz de resistir deshidratación o porque poseen características estructurales o fisiológicas que tienen por resultado el aplazamiento o la evasión de un nivel letal de desecación (Kramer,1974).

Las características fisiológicas y morfológicas de las especies son en su mayoría las que generan la tolerancia a la desecación, se pueden dividir en varios tipos de resistencia:

➤ Ajuste de la estación del crecimiento

Las especies germinan crecen y florecen en unas pocas semanas para resistir ya sea el invierno o el verano. Este tipo de especies generalmente tienen un rendimiento mucho mejor que las variedades que maduran más tarde.

➤ Sistemas extensos de raíces

Para evitar la desecación las especies que son profundas, bifurcadas y que se extienden mucho son más eficientes para sobrevivir a la deshidratación.

➤ Control de la transpiración

La tercera manera de evitar la sequía es reduciendo la transpiración. Algunas especies lo hacen al cerrar sus estomas, o desprendiéndose de sus hojas para evitar la tensión hídrica. Estas reacciones permiten que la vegetación almacene el agua por más tiempo y por ende que su sobrevivencia sea más extensa durante periodos de sequía.

2.4 Clasificación de las especies de vegetación de acuerdo con sus características físicas

De acuerdo con su tamaño las especies de vegetación se pueden agrupar en tres grandes grupos que se explican a continuación.

➤ Arboles

Un árbol es una planta perenne, de tallo leñoso, que se ramifica a cierta altura del suelo. El término hace referencia habitualmente a aquellas plantas cuya altura supera un determinado límite, diferente según las fuentes, 2 m, 3 m, 5 m o los 6 m en su madurez. Además, producen ramas secundarias nuevas cada año que parten de un único fuste o tronco.

➤ Arbustos

Se llama arbusto a una planta leñosa de cierto porte cuando, a diferencia de lo que es propio de un árbol, no se yergue sobre un solo tronco o fuste, sino que se ramifica desde la misma base. Los arbustos pueden tener varios metros de altura.

➤ Hierbas

Es una planta que no presenta órganos leñosos. Los tallos de las hierbas son verdes y mueren generalmente al acabar la buena estación, siendo sustituidos por otros nuevos si la hierba es vivaz.

Dentro del grupo de las hierbas se pueden encontrar las especies rastreras, trepadoras, bejucos, hierbas grandes, hierbas medianas y pastos.

2.5 Criterios de selección de especies vegetales

Sintetizando la teoría para las especies vegetales para que cumplan con factores hidrológicos y mecánicos, tenemos que para la estabilidad de taludes estas deben tener algunas de las siguientes características físicas:

- Un sistema de raíces profundo, puede ser pivotante o con raíces laterales, no obstante estas deben ser profundas y que sean densas.
- El sistema radical debe ser fibroso y denso muy característico de la especies arbustivas. Según la teoría, las raíces largas con diámetros relativamente pequeños amarran mejor el suelo, pues cruzan la superficie de falla del talud, ya que el suelo superficial se une a mantos más profundos para que no se produzca el deslizamiento.
- Un sistema eficiente de raíces para extraer el agua del suelo, suponiendo condiciones donde la especie se desarrolle bien es decir condiciones ideales.
- Buena tolerancia a la desecación o a la sequia, ya que no sirve si la especie no es resistente al medio donde se desenvuelve pues de morir no absorbe el agua etc.
- Es importante conocer la tolerancia de la especie a la exposición directa al sol, si es resistente o no.
- Las especies con más aspereza en las hojas también son más eficientes sin embargo no es determinante.
- Especies con tasa de evapotranspiración elevada generan taludes menos húmedos deben tener una buena densidad de follaje, es decir especies que cubran bastante el área a sembrar, o que contengan una copa bastante densa para el caso de los árboles.

En el cuadro 6.1 del capítulo 6, se incluyen las características por las cuales las especies fueron seleccionadas como posibles "estructuras" que puedan estabilizar los taludes. Se distinguen además características como el tipo de vegetación, es decir si es árbol, arbusto o hierba, el tipo de raíz, si es vertical, superficial etc. También se incluyen los pesos específicos para obtener la biomasa; la cual puede otorgar una idea del peso que generan las diferentes especies en el talud.

La cobertura vegetal también se encuentra detallada en el cuadro 6.1. Esta ayuda en el control de la interceptación de la lluvia, sin embargo lo ideal es que los árboles no tengan una copa tan densa, es decir se puede ver afectada por el viento, ya que copas muy amplias pueden generar mucha resistencia al aire por ende ocasionar volcamientos en las especies en sus etapas de desarrollo.

El cuadro 6.1 puede ser de gran ayuda a la selección para propósitos de ingeniería, no toma en cuenta la supervivencia de la especie a las condiciones ambientales.

En los cuadros 6.2, 6.3 y 6.4, se encuentran las especies seleccionadas de acuerdo con características botánicas; es decir si estas son capaces de sobrevivir a condiciones del medio ambiente que sean agresivas. En los cuadros mencionados anteriormente, se tomaron en cuenta esas características para la escogencia como lo son la resistencia a la sequía, si es lenta o rápida en su crecimiento entre otras.

Las especies seleccionadas se eligieron debido a que son buenas al brindar anclaje y controlar la erosión superficial debido a sus raíces, así como por la cobertura vegetal o densidad de follaje para el control hidrológico; pero a la vez, se escogieron por que tienen características buenas de supervivencia, es decir se adaptan bien al medio. Lo anterior según lo expuesto en la literatura. El siguiente capítulo refleja las condiciones necesarias para que cada una de las especies se desenvuelva mejor dependiendo de la zona de vida.

Capítulo 3

Ubicación geográfica de las especies vegetales aptas para la estabilidad de taludes en los suelos de Costa Rica

El INBio recolecta las especies vegetales de las diferentes zonas del país y establece los puntos de recolección mediante la ayuda de GPS. De esta forma se puede localizar una especie tanto en términos de latitud y longitud; así como de su elevación con respecto al mar. En la investigación realizada se escogieron especies según las características mecánicas e hidrológicas que más se apegaran a la literatura. A pesar de los obstáculos en cuanto a algunas características a nivel cuantitativo se procede a ubicar las especies seleccionadas que mejor se adaptan a las exigencias de la teoría.

En el presente capítulo se ubican las especies tanto por zonas de vida de Holdridge; como por distritos y cantones de Costa Rica, para que el interesado pueda conocer qué tipo de especies utilizar según la ubicación de su proyecto. Algunas de las especies que más se adaptan a las características serán ubicadas utilizando Sistemas de Información Geográfica o (SIG).

Un aspecto de interés es el hecho de que la mayoría de las veces el INBio hace recolectas en áreas de conservación. No obstante es una buena referencia para estimar en qué zonas de vida se pueden utilizar las especies recomendadas para la estabilidad de los taludes.

3.1 Sistemas de clasificación ecológica y concepto de zonas de vida

Un sistema de clasificación ecológica realmente útil debe tener límites bien definidos y ser sensible a los pequeños cambios que ocurren en la vegetación (muchas veces a corta distancia).

En nuestro país el sistema más utilizado es el que involucra el concepto de zonas de vida (Holdridge, 1967), pues es el que más se adapta a las condiciones ambientales.

En el caso de utilizar especies vegetales para estabilizar taludes, es necesario conocer algunas ventajas del uso de los sistemas de clasificación ecológica (que se detallan a continuación), para entender la razón de la existencia de las zonas de vida según Leslie Holdridge:

- Seleccionar los lugares que brindan mejores oportunidades para determinadas actividades agrícolas, forestales y pecuarias (planificación del uso de la tierra).
- Prevenir el impacto ecológico y la degradación del ambiente.
- Identificar muestras de las comunidades naturales existentes mostrando su importancia relativa para su conservación.

El botánico (Holdridge, 1967), observó que ciertos grupos de ecosistemas o asociaciones vegetales, corresponden a rangos de temperatura, precipitación y humedad, de tal forma que pueden definirse divisiones balanceadas de estos parámetros climáticos para agruparlas, eliminando la subjetividad al hacerlo. A estos conjuntos de asociaciones, los denominó zonas de vida. Así, las zonas de vida son conjuntos naturales de asociaciones (segundo orden en su sistema jerárquico), sin importar que cada grupo incluya una cadena de diferentes unidades de paisaje o de medios ambientales, que pueden variar desde pantanos hasta crestas de colinas.

Las zonas de vida comprenden divisiones igualmente balanceadas de los tres factores climáticos principales, es decir, calor, precipitación y humedad (Holdridge, 1967).

Para el caso de Costa Rica, existen 12 principales zonas de vida (Centro Científico Tropical, 2005) en las que se basa la investigación, pues existen también zonas de vida de transición las cuales no se toman en cuenta dentro de los distritos y cantones en el proyecto pues involucra un estudio más detallado.

El cuadro 3.1 muestra en forma concisa los rangos de temperatura y elevación de las diferentes zonas de vida en Costa Rica. Para esclarecer porque las zonas de vida están definidas por piso altitudinal, es necesario saber que a medida que se asciende las condiciones atmosféricas varían considerablemente.

Cuadro 3.1. Zonas de vida para Costa Rica según el sistema de clasificación ecológica de Leslie Holdridge

Zonas de vida para Costa Rica			
Piso Altitudinal	Límites de temperatura (°C)	Zona de vida	Rango Altitudinal (msnm)
Basal	Más de 24	Bosque Seco Tropical (bs-T)	0-500
		Bosque Húmedo Tropical (bh-T)	0-900
		Bosque Muy Húmedo Tropical (bmh-T)	0-1200
Premontano	Entre 24 y 18	Bosque Húmedo Premontano (bh-P)	200-2000
		Bosque Muy Húmedo Premontano (bmh-P)	0-2000
		Bosque Pluvial Premontano (bp-P)	100-2000
Montano bajo	Entre 18 y 12	Bosque Húmedo Montano Bajo (bh-MB)	1400-2700
		Bosque Muy Húmedo Montano Bajo (bmh-MB)	900-2900
		Bosque Pluvial Montano Bajo (bp-MB)	400-2800
Montano	Entre 12-6	Bosque Muy Húmedo Montano (bmh-M)	2400-3400
		Bosque Pluvial Montano (bp-M)	1900-3700
Sub Alpino	Entre 6-3	Páramo Pluvial Subalpino (PP-SA)	3000-3821

Fuente: Bolaños et al., 2005 (CCT)

La presente investigación se basa en los sitios de colecta que realiza el INBio. No obstante las especies podrían desarrollarse en más zonas de vida de las que se establecen en la misma, pues constantemente los botánicos realizan expediciones y encuentran especies que se creía no se podían desarrollar en ciertas elevaciones, debido a la siembra de especies por parte de personas que no tienen conciencia ecológica. Por tanto se debe notar que algunas especies vegetales no siguen patrones estrictos, especialmente en nuestro país donde se dan muchos microclimas.

3.2 Uso de vegetación autóctona o nativa

Se escogieron en su mayoría especies nativas o indígenas para evitar que especies exóticas invadan y puedan generar cambios de hábitat, ya sea tanto en la flora como en la fauna.

En Costa Rica se usan especies que son de todas las regiones del mundo, sin embargo es de vital importancia entender que las especies que son propias de nuestra región se han adaptado a las condiciones ambientales de nuestro entorno. El proceso de adaptación toma tiempo para que una especie exótica sea considerada de la región; además las especies foráneas pueden generar microclimas que vendrían a impactar si por ejemplo se planta un talud para estabilizarlo con muchas especies que no sean nativas.

Las especies autóctonas o nativas ya están adaptadas al medio ambiente propio de cada región, por esto los cuidados con ellas son menores pues las condiciones como clima, pendiente, elevación, el tipo de suelo, etc, son favorables para su desarrollo.

A continuación se resaltan algunas ventajas de utilizar especies autóctonas o propias de la región según la Red o Fundación Pronativas:

- No necesitan abonos o fertilizantes para desarrollarse, pues ya están adaptadas al tipo de suelo a la región que corresponden.
- No requieren riego en caso de estar en zonas más áridas, o de cuidados en suelos inundados pues las especies tanto en una región, como en otra, tienen sus mecanismos para defenderse.
- Se apoya la conservación de especies de fauna las cuales visitan ciertos tipos de árboles en las distintas regiones.

3.2.1 Especies exóticas o invasoras

Las especies exóticas son aquellas que han sido introducidas al país o a una distribución geográfica en donde no pertenecen (no necesariamente afectan si se toma un buen control, además existen algunas que se han adaptado bien). En la selección de las especies vegetales se eliminaron especies que podrían afectar al ecosistema con excepción de unas pocas que son muy útiles como el eucalipto. Esto porque si se recomienda una especie que no se adapta a las condiciones de las zonas de vida existentes en Costa Rica, es de suponer que la misma no va a resistir las condiciones ambientales y podría ya sea morir, o más bien generar competencia, ganar espacio y cambiar un micro clima en una determinada región. Al afectar un micro clima las especies exóticas pueden generar que la fauna se vea afectada también, eliminando el equilibrio tanto del paisaje rural, como de las variables que definen las zonas de vida. Se describen a continuación los peligros de utilizar estas especies según la Red Pronativas:

- Algunas son de reproducción agresiva y rápida.
- Toman el hábitat de especies nativas.
- Impiden regeneración del bosque nativo secundario.

- Reducen la biodiversidad.
- Aumentan el costo de un proyecto pues necesitan de riego abonos especiales debido a que no son de la zona

3.2.2 Control de maleza

El control de la maleza en un talud debe ser realizado debido a la existencia de especies vegetales que son muy agresivas y logra que las especies que tienen función de estabilidad del talud sean eliminadas. Las inspecciones de campo son de gran utilidad, pues como se detalla en el siguiente capítulo, se aprecia como en un talud rocoso las especies vegetales colonizan con el tiempo. Las especies pioneras pueden ser tanto nativas como exóticas, sin embargo deben ser controladas para evitar problemas de inestabilidad en el talud.

3.3 Erosión

La estabilidad de taludes está muy ligada con la erosión, cuando un talud presenta estos síntomas es mejor ayudarlo con vegetación que sea útil tanto para controlarla como para prevenir daños más graves. Existen distintos tipos de erosión de los cuales se mencionan los más importantes para tener en claro las diferentes manifestaciones que presentan y de cómo controlarla.

En Costa Rica distintas instituciones se han encargado de ejecutar una planificación de la capacidad y uso de tierras. La ubicación geográfica de las especies en las diferentes zonas de vida según Holdridge es sin lugar a dudas un aspecto primordial en la investigación. Sin embargo la capacidad y uso del suelo también pone de manifiesto que existen suelos con una problemática muy grande a la erosión, que eventualmente podría generar inestabilidad en los taludes. Por esta razón se presenta la ubicación geográfica de las clases en las que se ha dividido la clasificación según la erosión y la fertilidad de los suelos, que es de suma importancia para algunas especies vegetales seleccionadas, pues existen unas que se adaptan bien a suelos malos y otras son muy exigentes con los suelos. Lo que se pretende es que si los suelos no son de buena calidad para las especies, en cuanto a la edafología, se puedan entonces de acuerdo a la clasificación otorgada por el Ministerio de Agricultura y

Ganadería (MAG), compararlas con las características de los suelos que requieren las especies seleccionadas (ver cuadro 6.1).

3.3.1 Tipos de erosión

Existen diversos tipos de erosión dependiendo del agente externo que la produzca, así se pueden presentar problemas relacionados a este fenómeno debido al viento, al agua, etc. En lo que compete a los taludes, la erosión hídrica es la que más afecta, por ello se deben tomar las medidas para evitarla.

Los factores que afectan este fenómeno pueden ser de dos tipos, uno es debido a las fuerzas resistentes, como por ejemplo las propiedades físicas del terreno y la vegetación. El otro es generada por las fuerzas activas, como por ejemplo las características de las lluvias, pendiente o relieve topográfico del sitio, superficie del terreno y la capacidad de absorción del terreno. (Gray y Leiser, 1982)

La erosión hídrica se puede presentar de diversas formas como lo son, la erosión laminar, la debida a surcos, por cárcavas, erosión interna y la debida al afloramiento del agua.

La cobertura vegetal es primordial para controlar este fenómeno. Del capítulo anterior se pueden apreciar algunas especies secundarias seleccionadas que pueden ayudar a controlar el fenómeno (ver cuadro 6.1). Estas especies se caracterizan por ser de porte bajo y tener raíces superficiales fuertes o fibrosas que amarran el suelo superficial y de esta manera transmitir los esfuerzos a las especies vegetales más grandes como los árboles que sirven de anclaje, sin embargo estas configuraciones de especies en el talud se explicaran en mayor detalle en el siguiente capítulo. A continuación se explican los tipos de erosión hídrica que pueden generar graves problemas en los taludes; ocasionando inclusive la falla:

➤ Erosión Laminar

Después de una lluvia es posible que se pierda una capa fina y uniforme de toda la superficie del suelo como si fuera una lámina. Es la forma más peligrosa de erosión hídrica ya que es difícil observarla. Al principio es casi imperceptible, sólo será visible cuando pasado un tiempo haya aumentado su intensidad. Este proceso da origen a la erosión en surcos y posteriormente en cárcavas.

Para la eliminación de la erosión laminar se emplean por lo general pastos, pero depende de la inclinación de las pendientes, ya que si la pendiente es mayor a los 30° se deben usar refuerzos como pequeñas estacas clavadas al cospe y al suelo para amarrarlo, así como geotextiles y mantos biodegradables anclados al talud.

➤ Erosión en surcos

Según (Suarez, 1998), los surcos de erosión se forman por la concentración del flujo de agua en caminos preferenciales, arrastrando las partículas y dejando canales de poca profundidad generalmente paralelos. El agua de escorrentía fluye sobre la superficie del talud y a su paso va levantando y arrastrando partículas de suelo formando surcos.

Los surcos forman una compleja micro red de drenaje donde un surco al profundizarse va capturando los vecinos, formando surcos de mayor tamaño, los cuales a su vez se profundizan o amplían formando cárcavas en forma de v que pueden transformarse en forma de u.

La cárcava se profundiza hasta limitar con la superficie de equilibrio, la cual depende de las condiciones hidráulicas y geológicas del talud, para luego iniciar un proceso de avance lateral, el cual produce deslizamientos de los taludes bastante inclinados (casi verticales) que son producto de la erosión.

La profundidad y la velocidad de avance del proceso se pueden evitar controlando los fenómenos hidráulicos, además depende del material del que este conformado el talud por lo tanto es posible protegerlo. Para disminuir este proceso se puede recurrir a técnicas de agricultura pues el fenómeno inicia con la erosión laminar la cual es controlable creando obstáculos para la escorrentía superficial como lo son las especies vegetales de porte bajo y de abundante follaje.

➤ Erosión en cárcavas

Las cárcavas constituyen el estado más avanzado de erosión y se caracterizan por su profundidad, que facilita el avance lateral y frontal por medio de desprendimientos de masas de material en los taludes de pendiente alta que conforman el perímetro de la cárcava. Inicialmente tienen una sección en v pero al encontrar un material más resistente o interceptar el nivel freático se extiende lateralmente, tomando forma de U. Ver figura 3.1.

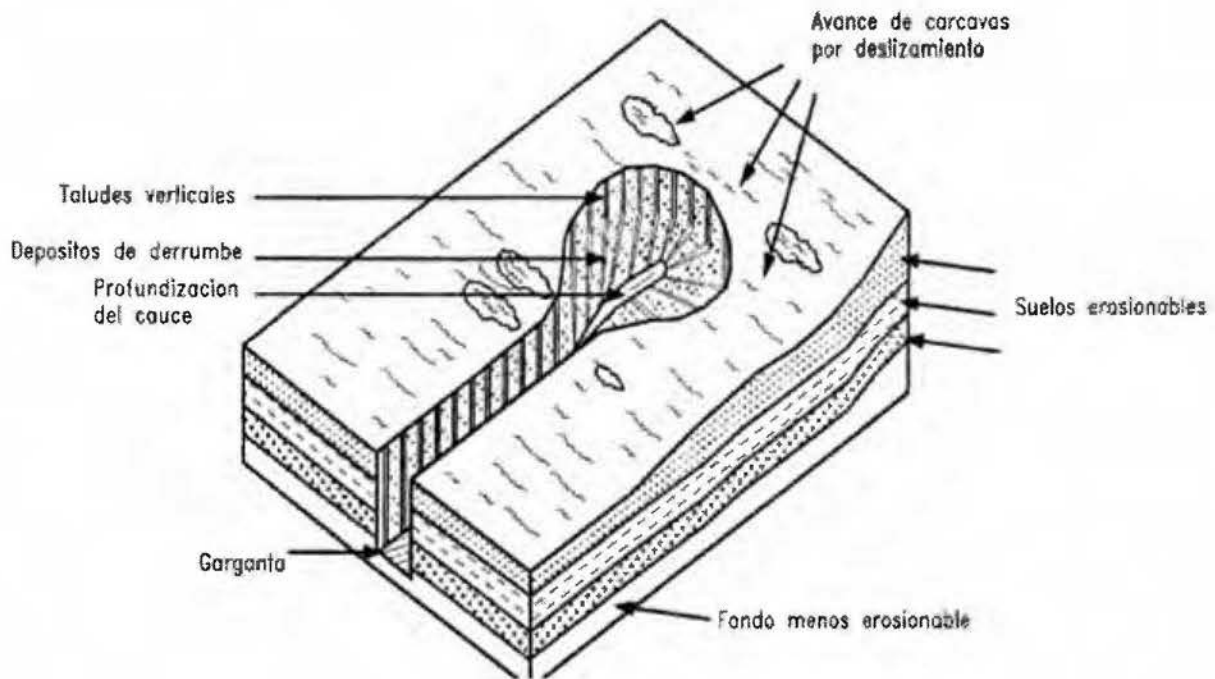


Figura 3.1 Esquema general de cárcava de erosión
Fuente: Suarez,1998

➤ Erosión interna

El agua viaja por medio de ductos en el subsuelo y va socavando y generando posibles hundimientos en el terreno produciendo una cárcava. Este fenómeno es muy peligroso pues es de difícil observación y puede generar fallas inmediatas. El agua puede llegar a formar cavernas que van debilitando la estructura interna del suelo. Las especies de porte más alto con un sistema radical que absorba mucha agua podrían evitar el fenómeno.

➤ Erosión por afloramiento de agua

El agua subterránea al aflorar a la superficie puede desprender las partículas de suelos subsuperficial formando cárcavas o cavernas.

3.3.2 Factores erosivos

Los factores erosivos son debidos tanto al clima como a la geología, sin embargo también se puede deber por aspectos tectónicos, litológicos, edafológicos, geomorfológicos y antrópicos.

Se puede hablar en términos más generales de la erosión en un talud, con aspectos como la erosividad de la lluvia y la erosionabilidad del terreno. La erosión también depende de aspectos como el relieve topográfico, la forma y longitud de la pendiente y la cobertura vegetal. Seguidamente se describen cada uno de los procesos:

➤ Erosividad

La erosividad es definida como la agresividad de la lluvia sobre el suelo, representa la energía con que las gotas de lluvia impactan al suelo a determinada intensidad para romper los agregados superficiales en partículas de tamaño transportable. Es por esta razón que la precipitación constituye el agente activo de la erosión, pues es el que lo genera en el suelo, o agente pasivo. La agresividad de la lluvia se puede estimar por el tamaño de las partículas de agua y la altura con que estas impactan en suelo. La erosividad también depende del viento ya que de este depende la velocidad de caída de las partículas de agua en el suelo.

Según (López , 1999), los diámetros de las gotas de agua de una lluvia oscilan entre los 0.5 y 5 mm. Estas medidas dependen de la intensidad de la lluvia. Si se realiza un análisis que involucre la distribución de estos tamaños y la velocidad de las gotas se puede calcular la energía cinética de las partículas. La energía cinética de este proceso es mayor que la de una escorrentía y por tanto es el efecto de la intensidad, duración y frecuencia de lluvia la que ocasiona principalmente la erosión. Una gota al caer disgrega las partículas de la estructura de suelo y las esparce a su alrededor. Luego el agua de escorrentía podrá arrastrar las partículas sueltas que encuentre en el camino.

➤ Erosionabilidad

La erosionabilidad se puede definir como la susceptibilidad que tiene ya sea una formación edáfica o rocosa a la erosión. Esta depende de las características del suelo o roca, así como del relieve y la vegetación presente. En cuanto a las formaciones edáficas, se puede describir que la erosionabilidad depende de factores como la textura, la capacidad de infiltración, los contenidos minerales y orgánicos, la estructura de la formación, y de la resistencia al esfuerzo cortante. (López, 1999)

➤ Relieve Topográfico

Este factor es el más influyente para los procesos de erosión. Dentro del relieve uno de los aspectos más importantes es la forma del perfil y la estructura y forma geométrica de las laderas. Incrementar la inclinación y la longitud del talud puede afectar de manera significativa la erosión debido al aumento de la velocidad y volumen de escorrentía superficial. Se puede estimar que para pendientes de 2% a 3% se produce erosión laminar, de 4% a 5% la erosión se vuelve intensa y para pendientes de 18% a 20% o más se presenta la formación de cárcavas.

➤ Cobertura Vegetal

Con anterioridad se mencionó el hecho de que las especies vegetales que se usen para la estabilidad deben cumplir con una buena densidad de follaje para controlar las condiciones hidrológicas. Los componentes aéreos de las especies desempeñan la función de almacenar parte de la precipitación, al mismo tiempo que amortigua las gotas de lluvia sobre el suelo. Debido a las raíces, se filtra el agua dentro del suelo en lugar de viajar en la superficie, o escorrentía superficial, por lo que reduce la velocidad del agua en la superficie del talud; además de que refuerza la estructura del suelo superficial haciéndolo menos propenso a la erosión. La presencia de materia orgánica se aumenta al existir vegetación y por tanto se mejora la estabilidad y porosidad del suelo.

3.4 Conservación de suelos y condiciones edafológicas para las especies.

Definidos los conceptos de erosión, erosividad, erosionabilidad, entre otros, se puede entender de forma más clara la clasificación de la capacidad y uso de suelos establecidos por la legislación costarricense.

Cuando se ejecuta algún proyecto se tiene que conocer la Ley de Conservación de Suelos para generar el menor impacto ambiental posible. El Ministerio de Agricultura y Ganadería estableció un mapa de capacidad de uso del suelo para Costa Rica (basándose en las Normas y Principios del Servicio de Conservación de Suelos en los Estados Unidos de América), que tiene la función de determinar cuáles lugares son aptos para las diferentes actividades agrícolas. En el caso del desarrollo esta investigación es necesario conocer cuáles suelos son

más fértiles y cuáles son más erosionables ya que existen especies vegetales que necesitan una mejor calidad en el suelo para absorber nutrientes.

El MAG ha dividido el país en zonas de acuerdo al uso del suelo en donde se considera que los riesgos erosivos son semejantes en grado y clase de erosión. Ello conlleva a la conservación de suelos pues se planifica de acuerdo con estos mapas, ya sea para controlar la erosión o en el caso que compete, para la estabilidad de laderas, pues son fenómenos que están relacionados.

Según se detalla en la Ley de Conservación del Uso del Suelo existe una correlación importante entre algunas variables del medio ambiente como lo son la topografía, la erosión, el clima, la cobertura vegetal, y el tipo de suelo. El control de la erosión puede ser controlado con especies vegetales que contengan raíces superficiales fuertes que amarren bien el suelo. Como es bien conocido, si no se controla la erosión como es el caso de los taludes desnudos se puede complicar hasta inclusive la inestabilidad del talud. Es por tal motivo un tema de suma importancia como medida preventiva para evitar la falla del talud. La estabilización de un talud de acuerdo con las especies recomendadas requiere de algunas plantas que puedan controlar el fenómeno de la erosión. Estas especies vienen especificadas según su tipo de raíz superficial. Por el contrario para el caso de sostener la masa del suelo superficial al subsuelo se necesitan varias o una raíz pivotante profunda que permita anclar el suelo de los estratos superficiales a los más profundos cruzando la superficie de falla.

El país se encuentra dividido en 8 clases propuestas por el MAG como se muestra en el cuadro 3.2, para advertir a la población de las zonas con más peligro de erosión y también que son más o menos fértiles para ser aprovechadas para las diferentes actividades.

Cuadro 3.2 Clasificación de la capacidad de uso del suelo, características y erosionabilidad.

Clase	Erosionabilidad	Características del suelo
I	Pequeño problemas de erosión	Tierras muy buenas, suelos casi planos, profundos, bien drenados con buena retención de humedad
II	Moderada susceptibilidad a la erosión	Tierras buenas, pendientes suaves, Los terrenos de esta clase incluyen algunas limitaciones que reducen la elección de plantas y/o requieren prácticas moderadas de manejo y conservación para mejorar las relaciones suelo-agua-planta.
III	Alta susceptibilidad a la erosión	Tierras moderadamente buenas, pendientes moderadamente fuertes, poca profundidad efectiva, muy baja fertilidad del subsuelo, baja capacidad de retención de humedad, cantidad moderada de sales y sodio, inundaciones frecuentes.
IV	Severa susceptibilidad a la erosión	Suelos superficiales, severas limitaciones que reducen la elección de cultivos, requieren manejo cuidadoso que es difícil de aplicar y mantener, pendientes muy fuertes, baja capacidad de retención de humedad, alto contenido de sales y sodio, efectos adversos moderados al clima.
V	Pequeña escala	Suelos casi planos, suelos húmedos, inundables, pedregosos, severas limitaciones climáticas, restringe crecimiento normal de las plantas.
VI	Altamente susceptibles a la erosión o ya erosionados	Severas limitaciones para cultivos pero aprovechables en pastos y bosque, pendientes muy fuertes, alta pedregosidad, suelos superficiales, excesiva humedad, factores climáticos adversos.
VII	Semejante al VI pero más severo	Uso restringido a pastos y bosques. Limitaciones similares a VI per más severas.
VIII	Alto grado de erosión	Uso recomendado solo en vida silvestre, mismas limitaciones anteriores pero todas en mayor grado.

Fuente: MAG, 1991

Con la ayuda del mapa de capacidad y uso del suelo de la figura 6.3, se puede determinar en cuáles zonas se está trabajando para observar la posibilidad de plantar especies vegetales con las características que satisfagan los requerimientos establecidos en el cuadro 6.1. En el mapa de uso del suelo del capítulo 6 (ver figura 6.3), es posible identificar las áreas protegidas que no pueden ser alteradas por las actividades humanas. La legislación es clara en cuanto a seguir esta descripción realizada por el MAG, ya que representa cuales son los suelos más malos para cultivar, a pesar de ello en estos suelos pueden desarrollarse algunas especies vegetales.

La capacidad y uso de suelos fue creada para clasificar los suelos según un ordenamiento sistemático de carácter práctico e interpretativo, fundamentado en la aptitud natural que presenta el suelo para producir constantemente bajo tratamiento continuo y usos específicos. Este ordenamiento proporciona una información básica que muestra la problemática de los suelos bajo los aspectos de limitaciones de uso, necesidades y prácticas de manejo que requieren y también suministra elementos de juicio necesarios para la formulación y programación de planes integrales de desarrollo agrícola.

3.5 Ubicación de especies por distritos, cantones y zonas de vida según Leslie Holdridge

Utilizando Sistemas de Información Geográfica y la información obtenida en el Centro Científico Tropical con respecto a las zonas de vida según Holdridge así como del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) para el caso de los cantones y distritos de Costa Rica en formato digital, se procedió a traslapar los mapas de zonas de vida con el de división política del país. Con ello se obtienen las zonas de vida para cada distrito de Costa Rica. Posteriormente se traslapa el "shape" (formato de archivos del programa Arcgis 9.3) de ubicación de las especies vegetales con el de zonas de vida y de esta manera se puede obtener en que distritos se pueden presentar esas especies de acuerdo a la ubicación geográfica.

Si bien es cierto existen especies más eficientes que otras para la estabilidad, es imprescindible tomar en cuenta en que zonas se pueden desenvolver mejor las especies vegetales. Es por esta razón la importancia que tiene este tema en la bioingeniería, ya que se está cumpliendo tanto con la ecología para no afectar el clima, como también con la ingeniería pues el buen desarrollo de las especies implica mejores resultados de resistencia al corte en el suelo.

3.5.1 Zonas de vida según Holdridge para cada distrito de Costa Rica

Para obtener la distribución de las zonas de vida en los diferentes distritos y cantones de Costa Rica se procedió a utilizar el programa ArcGis 9.3, con información obtenida de diferentes instituciones como el Centro Científico Tropical (CCT) y el Atlas Digital elaborado por el Instituto Tecnológico de Costa Rica se procedió a elaborar los mapas y cuadros para cantones y distritos.

La metodología utilizada es muy sencilla, con el programa se pueden traslapar dos mapas. En cada "shape" obtenido por ambas instituciones se cuenta con información resumida en cuadros para cada tipo de mapa. Al combinar ambos mapas se obtiene un mapa resultado de la intersección de los polígonos correspondientes a las zonas de vida con los polígonos de la división política del país tanto para cantones como para distritos.

La idea central de esta distribución es contar con la información para sembrar las especies de acuerdo a la zona donde se esté ejecutando algún proyecto de ingeniería o de conservación de suelos.

En un proyecto de estabilización de laderas es primordial conocer la fortaleza de las especies vegetales, tanto para que protejan el talud del agua, como para soportar los esfuerzos a los que son sometidas sus raíces.

Para que un árbol, arbusto o hierba se desempeñen de manera óptima es vital que se desarrollen en ambientes aptos. Por tal motivo lo que se pretende con la distribución de las zonas ecológicas por distritos y cantones es que la persona que esté realizando un proyecto conozca que tipos de zonas de vida se dan de acuerdo a la localización del mismo. De esta manera se puede dirigir al cuadros 6.5 para que pueda escoger las zonas que se dan de acuerdo con la localización del proyecto. Para una identificación más precisa de la zona se puede utilizar un altímetro. Al conocer los tipos de zona de vida que se dan en el distrito y con la información de la elevación del proyecto se puede saber usando el cuadro 3.1 a cual zona de vida en específico pertenece el proyecto.

La metodología empleada en el programa ArcGis es la siguiente.

1-Contar con el "shape" de zonas de vida otorgado por el CCT, así como el "shape" de división política de Costa Rica.

2-Debido a que el "shape" de división política viene para todo el país se debe recortar el mismo con un comando denominado Clip que se encuentra en el Toolbox, para recortar las provincias y de esta manera lograr mapas por provincias.

3-Una vez obtenida la provincia aislada del resto del territorio nacional, se procede a combinar los "shapes" de zonas de vida con el de distritos y cantones de Costa Rica mediante un comando llamado intersect que combina tanto polígonos de ambos "shapes", como los cuadros de los mismos en uno solo.

De esta manera se obtienen los resultados de los cuadros y mapas correspondientes a las zonas de vida (ver cuadros y figuras del capítulo 6) para los distritos de Costa Rica. Cabe destacar el hecho de que existe una mayor área de los polígonos de las zonas de vida en los diferentes distritos. Por ejemplo, si se tiene que un distrito está en su mayoría cubierto de

bosque húmedo premontano (bh-P), se le podría asignar solo esa zona de vida. No obstante la información obtenida se hizo para las 12 zonas de vida que puedan existir en un solo distrito. Además se cuenta con la ayuda de mapas para que el usuario pueda ubicar su distrito dependiendo de la localización de su proyecto. Por consiguiente, el interesado puede conocer específicamente a que zona de vida pertenece; ya sea mediante el uso de las coordenadas geográficas del proyecto o utilizando un altímetro.

Para tener clara la información de manera gráfica, es necesario un mapa que describa como es la distribución de las zonas de vida en los 81 cantones de Costa Rica. Nuestro país se encuentra ubicado en una zona donde existe cualquier cantidad de microclimas, por ende la visualización de esta información en cuadros puede no explicar cómo es la variedad de los mismos en cada cantón costarricense. Es por esta razón que con la ayuda de elementos gráficos se puede resumir bastante la información a pesar de no poder graficarla por distrito, se puede tener una idea de cómo se dan las zonas de vida tanto por provincia como por cantón. (ver los mapas del capítulo 6)

Los mapas son de fácil entendimiento, en ellos se detallan los cantones con una enumeración establecida, los polígonos correspondientes a los cantones no tienen ninguna coloración, por ende los colores solo pertenecen a las zonas de vida. A las diferentes zonas de vida para el caso de los mapas por provincia se les asignó la misma coloración de acuerdo con la simbología ya establecida y descrita en el cuadro 3.1. Para el caso de las zonas de vida de transición, es decir aquellas que se encuentran entre dos zonas de vida definidas, se les dio una tonalidad muy parecida debido a que solo se utilizaron las 12 zonas principales.

3.5.2 Zonas de vida según Holdridge para las especies seleccionadas aptas para la estabilidad de taludes

De la misma manera que en el punto anterior, se utiliza el programa ArcGis 9.3 para tener la información de la ubicación de las especies vegetales por zonas de vida.

La metodología utilizada es semejante a la utilizada en la determinación de zonas de vida por distritos y cantones, sin embargo tiene diferencias. Para cada una de las especies seleccionadas se realiza una hoja de Excel con la ubicación de los puntos de latitud y

longitud en sistema decimal, ya que los datos obtenidos del INBio vienen en sistema sexagesimal. Cuando se produce dicha base de datos se procede a importarlo al programa ArcGis 9.3, de esta manera se grafican los datos en un mapa y se proyectan a un mismo sistema de coordenadas. En este caso el utilizado es el CRTM05, de esta forma se puede localizar cada una de las especies en las diferentes zonas de vida.

Un punto que hay que tener en claro, es que las especies vegetales se desarrollan en diferentes zonas de vida, como es el caso de los resultados obtenidos en la investigación, donde una especie puede tener varias zonas ecológicas (ver cuadros 6.2, 6.3 y 6.4). Los especialistas en el tema ecológico son de gran ayuda para los proyectos de ingeniería, ya que ellos conocen en cuales zonas se desenvuelven mejor las especies a pesar de que estas se den en otras zonas ecológicas.

Con la ayuda de sistemas de información geográfica o al programa Arcgis se puede apreciar la distribución de las especies vegetales seleccionadas en las diferentes zonas de vida de Costa Rica. Como ya se ha comentado, los datos de posicionamiento se obtienen del INBio y se proyectan al sistema geográfico CRTM05. En los mapas se pueden apreciar los puntos de colecta distinguidos con una coloración diferente para cada una de las especies y con diferentes símbolos para no generar confusiones por similitud en la coloración de los puntos. Las especies seleccionadas están denotadas también por coloraciones distintas para ver la distribución de las mismas en el territorio nacional.

Los mapas son elaborados para apreciar la distribución geográfica de los sitios de colecta establecidos por el INBio, y al mismo tiempo para generar el cuadro 6.6 que establece de manera específica la ubicación de las especies vegetales por zonas de vida

Capítulo 4

Uso de especies vegetales para la estabilización de laderas y sus métodos de implantación

El desarrollo del presente capítulo es muy útil para el análisis de estabilidad de los taludes en un proyecto. Se pueden identificar los tipos de movimientos posibles en una ladera para ser mitigados con el método de bioingeniería de suelos o biotécnica para estabilizar los taludes si conocemos el problema a tratar. Un talud con desprendimientos no puede ser tratado de la misma manera que un talud con una posible falla por deslizamiento rotacional o por exceso de erosión. Todos estos fenómenos pueden ser prevenidos si se trata de manera adecuada el talud y por lo tanto se puede generar un beneficio tanto desde la óptica ingenieril como por el área de la ecología.

Es importante además considerar como o que métodos de implantación utilizar para sembrar en un talud, debido a que tanto el tipo de suelos, la inclinación entre otros, pueden afectar la germinación de las especies que se requiere se desenvuelvan para evitar los movimientos de laderas y el control de erosión.

4.1 Clasificación de los movimientos en masa

Para entender el análisis realizado en los diferentes proyectos visitados en el siguiente capítulo es necesario conocer la teoría de los tipos de movimiento en masa y también de algunas consideraciones para reconocer algunas probables fallas por medio de la observación. De esta manera por medio de lo descrito en las diferentes zonas del país se pueden dar de manera más sencilla las recomendaciones del uso de especies vegetales dependiendo de si el talud así lo requiere.

Según (Varnes, 1978), los movimientos de ladera pueden entenderse como los reajustes del terreno para conseguir el equilibrio ante un cambio de condiciones. Las áreas más propensas a la inestabilidad son las zonas montañosas y escarpadas, zonas de relieve con procesos erosivos y de meteorización intensos, laderas de valles fluviales, acantilados costeros, zonas

con materiales blandos y sueltos, con macizos rocosos arcillosos, esquistosos y alterables, zonas sísmicas, zonas de precipitación elevada, etc.

Los tipos de materiales definen las clasificaciones de los movimientos de laderas, por lo que se puede distinguir entre materiales rocosos, derrubios y suelos, y al mecanismo y tipo de rotura. Deben considerarse también otros aspectos, como el contenido de agua en el terreno, y la velocidad y magnitud del movimiento. Se pueden por lo tanto clasificar los movimientos en deslizamientos, flujos, desprendimientos, vuelcos, avalanchas y desplazamientos laterales como se muestra en la figura 4.1 y se explican a continuación:




















Desprendimientos rotacionales			
	Suelos		Rocas
Deslizamientos traslacionales			
	Suelos	Rocas	
Flujos			
	Suelos	Derrubios	Bloques rocosos
Desprendimientos			
Vuelcos			
		Rocas	Suelos
Avalanchas			
		Rocas	Derrubios
Desplazamientos laterales			
	Suelos	Bloques rocosos	

Figura 4.1 Clasificación de los movimientos de ladera.
Fuente: Varnes, 1978 Modificado por González de Vallejo et al., 2002

4.1.1 Deslizamientos

Los deslizamientos se definen como movimientos de masas de suelo o roca que se deslizan, moviéndose relativamente respecto al sustrato, sobre una o varias superficies de rotura netas al superarse la resistencia al corte de estas superficies. La masa generalmente se desplaza en conjunto, comportándose como una unidad en su recorrido. La velocidad puede ser muy variable, pero suele ser procesos rápidos y alcanzar grandes volúmenes. Cuando existen velocidades muy elevadas pueden transformarse en un flujo y en ocasiones pueden ocasionar avalanchas. (Varnes, 1978)

Los deslizamientos se dividen en rotacionales y traslacionales, según el (Instituto Geológico y Minero de España, 1987). En los primeros la rotura profunda o superficial, ocurre a través de superficies curvas que pueden ser o no circulares, dependiendo de la uniformidad del material. Usualmente éste fenómeno ocurre en suelos cohesivos uniformes o macizos rocosos muy fracturados. Por otra parte el deslizamiento traslacional ocurre cuando la rotura se da en los planos de debilidad que son paralelos a la dirección del talud y con una inclinación menor o igual a la cara del talud. Las masas que deslizan en ocasiones son bloques rectangulares o previamente independizados por discontinuidades o por grietas de tracción.

4.1.2 Coladas o Flujos

Son movimientos de masa de suelos, derrubios o bloques rocosos con abundantes presencia de agua, donde el material esta disgregado y se comporta como un fluido. Este tipo de falla consiste en movimientos relativamente rápidos de zonas localizadas de una ladera natural, de tal manera que se asemeja al fluir de un líquido viscoso. (Juárez y Rico, 2009)

Este fenómeno se puede presentar en cualquier formación no cementada, desde rocas hasta arcillas francas, y ocurre tanto en materiales secos como húmedos. Cuando el fenómeno existe en materiales secos, por lo general es asociado a fenómenos de presión de aire, en los que éste juega un papel análogo al del agua en los fenómenos de licuación de suelos.

4.1.3 Desprendimientos o caídas

Según (Varnes, 1978), los desprendimientos son caídas libres muy rápidas de bloques o masas rocosas independizadas por planos de discontinuidad preexistentes. Son frecuentes en laderas de zonas montañosas escarpadas en acantilados y, en general, en paredes rocosas,

siendo frecuentes las roturas en forma de cuña y bloques formados por varias familias de discontinuidades y grietas, las sacudidas sísmicas etc.

Pueden también darse desprendimientos de masas de suelos en taludes verticales, generalmente a favor de grietas de tracción generadas a causa del estado tensional o de grietas de retracción por desecación del terreno.

4.1.4 Vuelcos

Los vuelcos de estratos o de fragmentos de masas rocosas se pueden incluir dentro de los desprendimientos. El autor (Ayala, 2007) menciona que el fenómeno consiste en la rotación hacia adelante y el exterior de la ladera, de una masa de suelo o roca alrededor de un eje situado por debajo de su centro de gravedad. Estos movimientos se producen en bordes acantilados rocosos o de materiales arenos arcillosos compactados.

➤ Vuelco por flexión

Ocurre en rocas con un sistema preferente de discontinuidades, formando vigas semicontinuas en voladizo (Goodman y Bray, 1976), las columnas continuas cuando se doblan hacia delante, rompen por flexión.

➤ Desplome

La parte movida cae con un movimiento brusco de giro, al menos inicial, apoyado en su base externa. Si la ladera es empinada, las roturas por vuelco pueden transformarse en caídas.

4.1.5 Avalanchas

Son considerados desprendimientos o movimientos complejos en algunas clasificaciones, son muy rápidos, con caída de masas de rocas o derrubios que se desprenden de laderas escarpadas y pueden ir acompañadas de hielo y nieve. Las masas rocosas se rompen y pulverizan durante la caída, lo que da lugar a depósitos con una distribución desordenada de bloques, con tamaños muy diversos, sin estructura, prácticamente sin abrasión y con gran porosidad. (Varnes, 1978)

Las avalanchas son generalmente el resultado de deslizamientos o desprendimientos de gran magnitud que, por lo elevado de la pendiente y la falta de cohesión de los materiales, descienden a gran velocidad superando velocidades los 100 km/h.

4.1.6 Desplazamientos laterales

El autor,(Varnes ,1978), distinguió dos tipos de desplazamientos laterales, en el primero la fracturación y extensión de material compacto (tanto suelo como roca), debido a la licuefacción del material subyacente. Mientras que el segundo tipo se da por los movimientos afectan al conjunto de formación sin que se identifiquen zonas basales de cizalla o flujo plástico, o por lo menos, sin que estén bien definidas. Suelen afectar a litologías blandas y deformables que se encuentran por debajo de niveles potentes de materiales resistentes y densos. El desplazamiento lateral provoca la fracturación de las capas de recubrimiento separándose en grandes bloques por entre los cuales es capaz de penetrar la arcilla. El movimiento suele ser extremadamente lento.

4.1.7 Identificación de los movimientos

Al visitar un talud es importante notar algunas características como medida preventiva para su pronta corrección, es imprescindible conocer qué tipo de fenómeno se va a enfrentar para poder utilizar especies que ayuden a controlar o mitigar el impacto, ya sea controlando la erosión para evitar futuras fallas o utilizando especies más leñosas para estabilizar el talud como medida preventiva. En el cuadro 4.1 se muestra el método para identificar movimientos en una ladera.

Cuadro 4.1. Identificación de los movimientos de laderas

Factores característicos para la identificación de movimientos de ladera			
Tipo de movimiento	Zona de cabecera y parte superior de la ladera	Zona baja de la ladera	Geometría
Desprendimientos	Laderas irregulares y rocosas escarpadas con material suelto o derrubios en la parte superior. Bloques independizados por discontinuidades o fracturas. Grietas tras el talud. Vegetación escasa.	Acumulación de bloques y fragmentos rocosos.	Pendientes elevadas mayores a 50°.
Deslizamientos rotacionales	Grietas de tracción curvas cóncavas hacia la ladera. Escarpes curvos con estrías, que pueden ser verticales en la parte superior. Superficies basculadas con encharcamientos. Contrastes de vegetación. Malas condiciones de drenaje y encharcamientos en depresiones.	Depósitos convexos lobulados. Desvío de cauces.	Pendientes entre 20° a 40° D/L < 0,3 a 0,1
Deslizamientos traslacionales	Grietas de tracción verticales paralelas al talud. Escarpes verticales poco profundos. Material en bloques con grietas entre ellos. Sin encharcamiento en cabecera. Drenaje desordenado o ausencia del mismo.	Desvío de cauces. En ocasiones acumulaciones de material con forma de lóbulos.	Pendientes uniformes D/L < 0,1
Deslizamientos laterales	Bloques desplazados y basculados en varias direcciones. Pendientes suaves o muy suaves. Grandes grietas separando los bloques. Bloques con formas irregulares controladas por fracturas. Sistemas de drenaje interrumpidos, obstrucciones en cauces, valles asimétricos.		Pendientes suaves incluso < 10°
Flujos de barro	Nichos cóncavos poco profundos. Pocas Grietas. Contrastes en la vegetación con las zonas estables. Encharcamientos. Sin irregularidades importantes en el drenaje.	Lóbulos morfología irregular ondulada.	Pendientes 15-25° D/L = 0,005-0,001
Flujos de tierra y derrubios	Concavidades y lóbulos en el área fuente. Varios escarpes. Depósitos con forma de corriente en valles. Ausencia de vegetación. Drenaje irregular y perturbado en la masa deslizada.	Lóbulos depósitos convexos. Morfología irregular.	Pendientes > 25° D/L muy pequeño

D/L = profundidad / longitud de la masa deslizada.

Fuente: Soeters y Van Westen, 1996 Modificado por González de Vallejo et al., 2002

4.2 Uso de vegetación y precauciones de drenaje

Como ya se ha mencionado la vegetación tiene un efecto hidrológico en el suelo, debido a la extracción de agua del suelo para los requerimientos nutricionales de las diferentes especies. Ello resulta en un beneficio para eliminar la presión de poros en los taludes y ayuda a dar estabilidad al talud. No obstante, es necesario realizar un buen diseño geotécnico e hidráulico que complemente a la vegetación para evitar fallas futuras.

Según (Juárez, 2009) la principal y más frecuente causa de problemas debidos a la estabilidad de taludes en obras de ingeniería es la presencia de agua y su movimiento por el interior de

la masa de suelo. Es necesario por ende construir estructuras comunes, como cunetas, contracunetas, alcantarillas etc.

Es indispensable dar mantenimiento a estas estructuras limpiando los drenajes de los elementos que puedan bloquear el paso del agua. En un buen diseño la velocidad del agua en el drenaje debería de "autolimpiarse" no obstante es importante hacer inspecciones para observar posibles daños en el talud producto de un mal diseño.

4.3 Técnicas de bioingeniería de suelos y estabilización biotécnica de taludes

Antes de sembrar las especies en los taludes, es aconsejable ubicar el talud, para determinar qué tipo de especies se van a plantar debido a la exposición del talud al sol o a la sombra. Este factor es determinante y por ende debe ser conocido para la escogencia de las especies vegetales, como se muestra en el cuadro 6.1 . Se pueden seleccionar las especies que sirvan tanto para el sol como para la sombra parcial. Dependiendo de la dirección a la que se encuentre el talud, una ladera que no reciba sol en todo el día debe ser considerado para la plantación de las distintas especies.

Existen técnicas para el tratamiento de los taludes, una de ellas la estabilización biotécnica del talud, que consiste en hacer uso combinado de elementos vegetales vivos e inertes que tienen una función mecánica en el talud para el control de la erosión y los deslizamientos como lo son las geomallas, geotextiles, hormigón etc. Otro concepto que es de importancia, es la bioingeniería del suelo, que es un término más específico que se refiere principalmente a la utilización de plantas completas o esquejes cuya función principal es enraizar para estabilizar el talud mecánicamente.

En el cuadro 4.2 se aprecian los métodos de bioingeniería de suelos o construcciones vivas y la biotecnología o uso mixto de vegetación con estructuras inertes.

Cuadro 4.2 Clasificación de las técnicas de bioingeniería del suelo y estabilización biotécnica.

		Método
Construcciones vivas	Técnicas convencionales de revegetación	Siembra
		Cespedones
		Plantación
	Plantas leñosas utilizadas como refuerzo y como barreras de contención al movimiento del suelo.	Estacas vivas
		Fajinas vivas
		Paquetes de matorral
		Escalones de matorral
		Gaviones blandos
Construcciones mixtas	Plantaciones reforzadas con geotextiles.	Revegetación de revestimientos (gaviones, mallas, celosías etc)
		Revegetación de muros de contención (muros de tierra reforzada, muros escalonados etc)
		Revegetación de estructuras y sistemas de reforzamiento (geotextiles, mallas metálicas etc)
	Muros construidos en la cabecera o el pie del talud reforzados con vegetación.	Muros de contención (escollera, mampostería, bloques prefabricados de hormigón) con una cara vegetada con herbáceas y arbustos.
Construcciones inertes	Estructuras convencionales con espacios ocupados por vegetación	Muros de gravedad
		Muros de pilotes cilíndricos
		Muros de tierra reforzada

Fuente: López y Mataix ,1999

Se describen a continuación algunas biotécnicas y técnicas de bioingeniería de suelos que son funcionales para la estabilidad de movimientos en masa y el contro de erosión superficial:

4.3.1 Estaquillado

El estaquillado se refiere a la reproducción de las plantas por vía vegetativa (ver cuadro 6.1), las especies tienen que tener la capacidad de desarrollar una planta adulta mediante este método ya que existen especies que no pueden desarrollarse por esta vía. La longitud de la estaca es importante para un buen desarrollo, en la figura 4.2 se detalla el uso de estacas en el suelo.

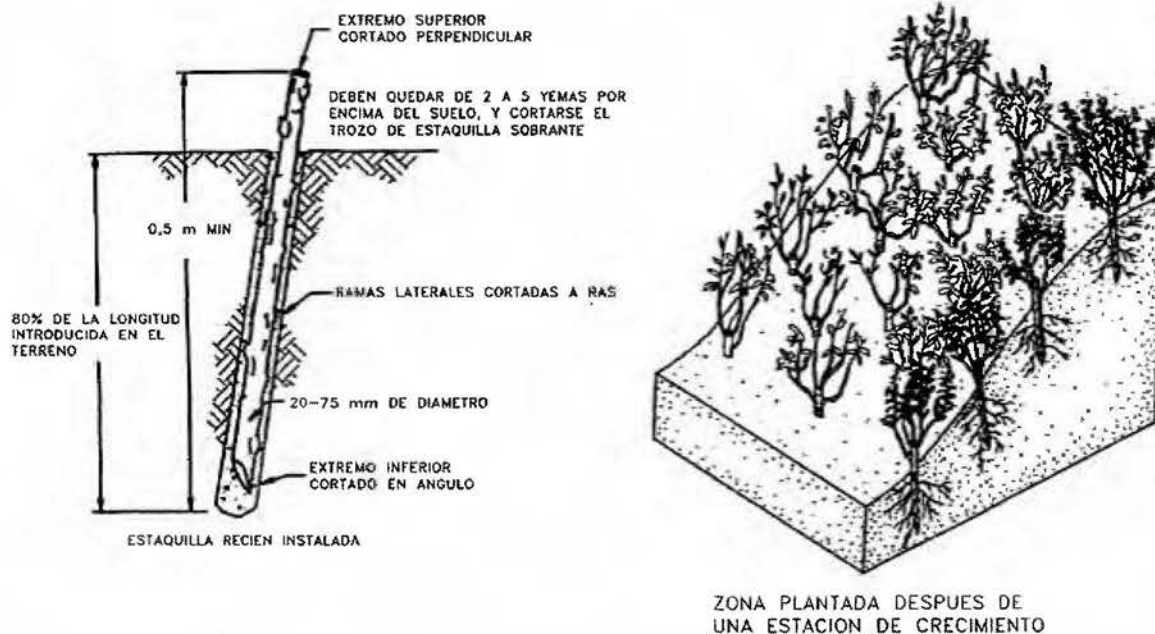


Figura 4.2. Detalle del uso de la técnica de estaquillado
Fuente: López y Mataix, 1999

Las estacas tienen una buena capacidad de enraizar, al mismo tiempo le quitan humedad al talud mientras van creciendo. Es importante para un talud desnudo utilizar especies que enraícen rápidamente o especies efímeras para tratar el talud lo más pronto posible. Las estacas deben ser obtenidas de especies entre dos a cinco años de edad, su forma de plantar es realizada mediante un corte con ángulo en el lado que se va a introducir en el suelo, mientras que en la parte superior lleva un corte perpendicular.

Esta técnica puede ser combinada con otras como por ejemplo con muros de gaviones. Sin embargo para el uso de las estacas dentro de los gaviones los elementos deben tener diámetros mayores para que no se quiebren al ser introducidas dentro del gavión.

La técnica de estaquillado es funcional para tratar pequeños deslizamientos, también se puede combinar con mantas orgánicas o geotextiles para el control de erosión superficial. La densidad recomendada es de tres a cinco estaquillas/m².

4.3.2 Empalizada de vegetación o fajinas de ladera

Según (Mataix, 1999) las fajinas son manojos de ramas y tallos atados en forma de huso que se colocan en el fondo de zanjas poco profundas, excavadas transversalmente siguiendo el contorno del talud, y que se recubren parcialmente de tierra.

Esta técnica es muy funcional para pequeños deslizamientos con profundidades de 0.25 a 0.75m, la misma evita la formación de cárcavas debido a que se evita la energía erosiva del agua. Las especies favorecen la infiltración pues se reduce la velocidad de escorrentía lo que a su vez hace que las partículas quedan retenidas en las filas de fajinas reduciendo el uso de cunetas al pie del talud.

Para anclar las fajinas se usan estaquillas de 0.5 m de longitud, en taludes de desmonte y de 0,75m si esta en terraplén. La distancia entre fajinas varía dependiendo de la inclinación y de la longitud máxima de la pendiente como se muestra en el cuadro 4.3 y se ilustra en la figura 4.3

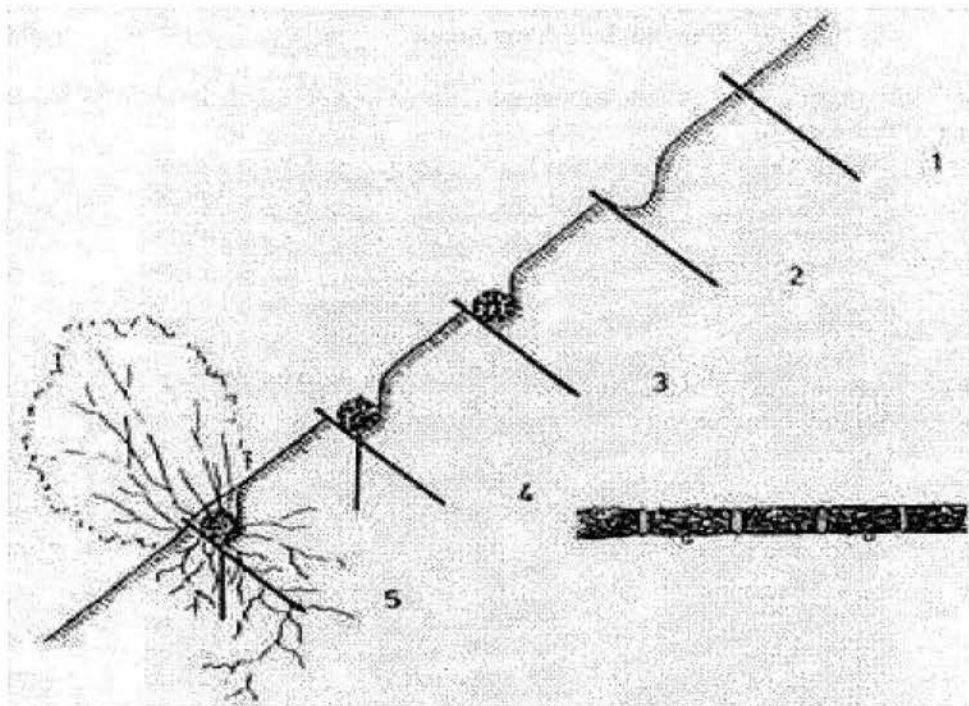


Figura 4.3 Fajinas de ladera

Fuente: Manual de Ordenación de Cuencas Hidrográficas, 1986

Cuadro 4.3 Distancia entre fajinas dependiendo de la geometría del talud a tratar.

Pendiente (°)	Distancia entre fajinas (m)	Longitud máxima de la pendiente (m)
45-33	0,8-1,25	5
33-25	1,25-1,5	6
25-20	1,5-2	9
20-18	2-2,5	12
18-14	2,5-2,75	15
14-11	2,75-3	18

Fuente: López y Mataix, 1999

4.3.3 Escalones y paquetes de matorral

➤ *Escalones de matorral*

Consiste en realizar pequeñas zanjas en el talud con ramas que tengan la capacidad de enraizar, de manera que formen terrazas o escalones. La disposición de las ramas es en un ángulo casi perpendicular al perfil del talud, además la profundidad varía hasta dos metros dentro del talud.

Este método es muy utilizado para prevenir deslizamientos rotacionales, entre las ventajas está el hecho de mejorar las condiciones de infiltración en los suelos secos y drena los suelos húmedos.

La manera en que se instalan las ramas es realizando una zanja con un ancho entre 0,5 m a 1,0 m, con una profundidad de 1,0 m como mínimo y con un ángulo de 10° a 20° de contrapendiente hacia el talud, posteriormente se rellena la zanja con tierra y se compacta para evitar las bolsas de aire. El espaciamiento va variando desde el pie hasta la cabecera del talud tal como se describe en el cuadro 4.4 y se ilustra en la figura 4.4, dependiendo de la pendiente del talud, la longitud de la pendiente del talud y de las condiciones de humedad.

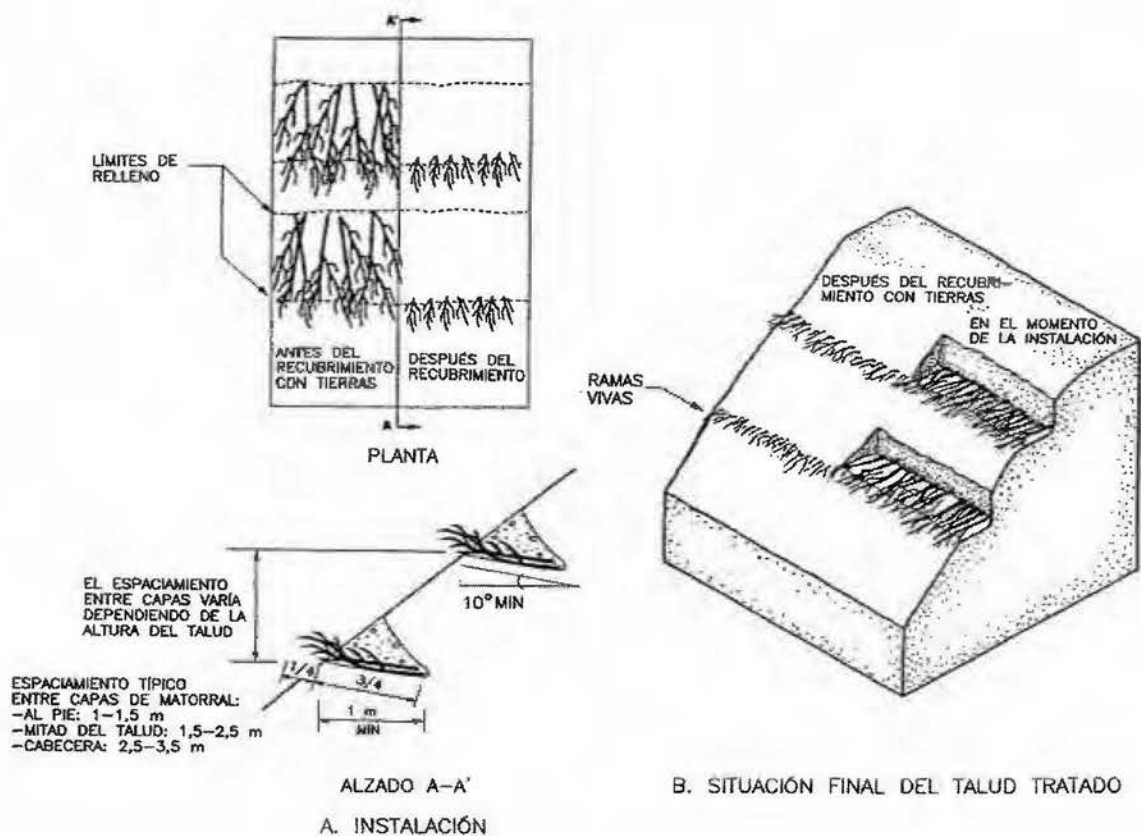


Figura 4.4. Técnica de escalones de matorral para la estabilidad de movimientos en masa.
Fuente: López y Mataix, 1999

Cuadro 4.4 Distancias entre escalones de matorral

Pendiente(H:V)	Distancia entre zanjás(m)		Longitud máxima de pendiente (m)
	Talud Húmedo	Talud seco	
2:1 a 2.5:1	1-1,25	1,5-1,75	4,5
2.5:1 a 3:1	1,25-1,5	1,75-2,5	4,5
3.5 a 4:1	1,5-1,75	2-3	6

Fuente: Sotir y Gray, 1992

➤ Paquetes de matorral

La técnica se utiliza para reparar pequeños deslizamientos, rellenando la depresión generada producto de la falla. Los materiales utilizados son estacas de madera de 1.5 a 2.5m de largo y de 75 mm a 100 mm de diámetro. La instalación es hincando las estacas de madera de manera vertical y penetrando de 1 a 1,25 m dentro del talud distanciadas entre 15 a 30 cm,

otro material utilizado son ramas que se disponen en el talud con un espesor de capas de 10 a 15cm y se colocan empezando en la base del talud para posteriormente avanzar a la parte más alta. Cada capa de ramas se cubre con tierra húmeda y se deja sobresalir parte de las ramas a la superficie. En la figura 4.5 se observa cómo se colocan las ramas las estacas y el material de relleno en el talud.

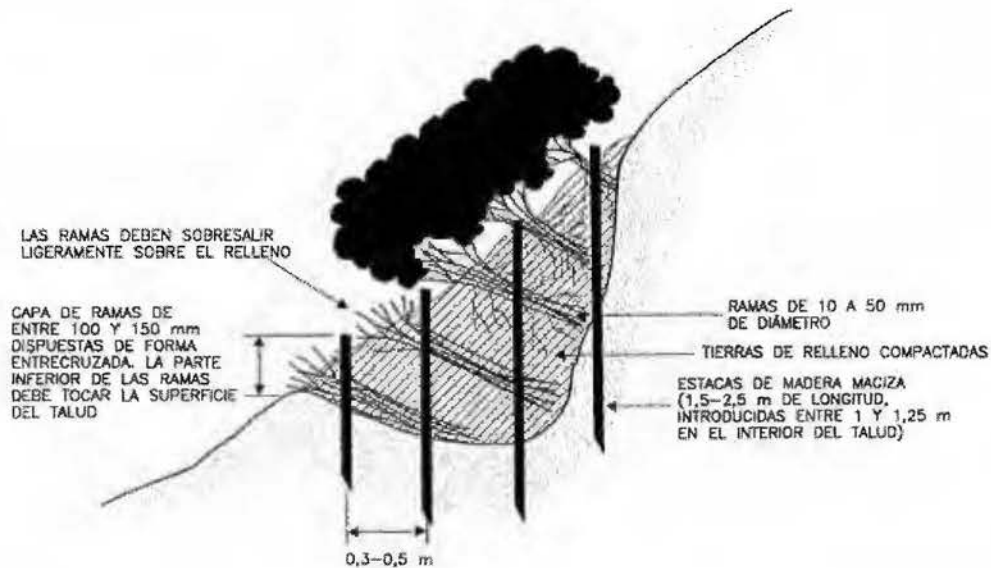


Figura 4.5 Técnica de paquetes de matorral para reparar pequeños deslizamientos
Fuente: Manual de ordenación de cuencas hidrográficas, 1986

4.3.4 Muros vivos

Son muros de madera con forma de cajón, los espacios dentro de cada cajón se rellenan con tierra y ramas que enraízan y anclan la estructura al talud. A medida que las ramas echan raíces, estas van sustituyendo al cajón de madera que tiene una función de muro de contención y conforme avanza el tiempo la vegetación llega a ser el principal elemento estructural que brinda estabilidad al talud.

Se instala desde el pie del talud realizando una excavación en el plano de deslizamiento con una contrapendiente de 10° a 15° en el fondo en el cual se puede colocar piedra de escollera cuya función es dar asiento a la estructura. Posteriormente se introducen largueros de madera entre los 100 y 250 mm de diámetro paralelos a la superficie del talud y separados 1 a 2 m aproximadamente, sobre estos se colocan travesaños (con los mismos diámetros de los largueros) los cuales son perpendiculares a la superficie del talud distanciados

aproximadamente a 1 m; éstos deben sobresalir entre 75 a 150 mm de los puntos de apoyo. Cada nivel de la estructura es rellenado con tierra a la cual se le colocan las ramas en la parte superior para posteriormente ser cubiertas por el nivel de la capa siguiente, cuidando que la contrapendiente siempre este entre los 10° a 15°. En la figura 4.6 se observa que las ramas se colocan de manera perpendicular a la cara frontal de la estructura sobresaliendo unos 250 mm aproximadamente de la estructura.

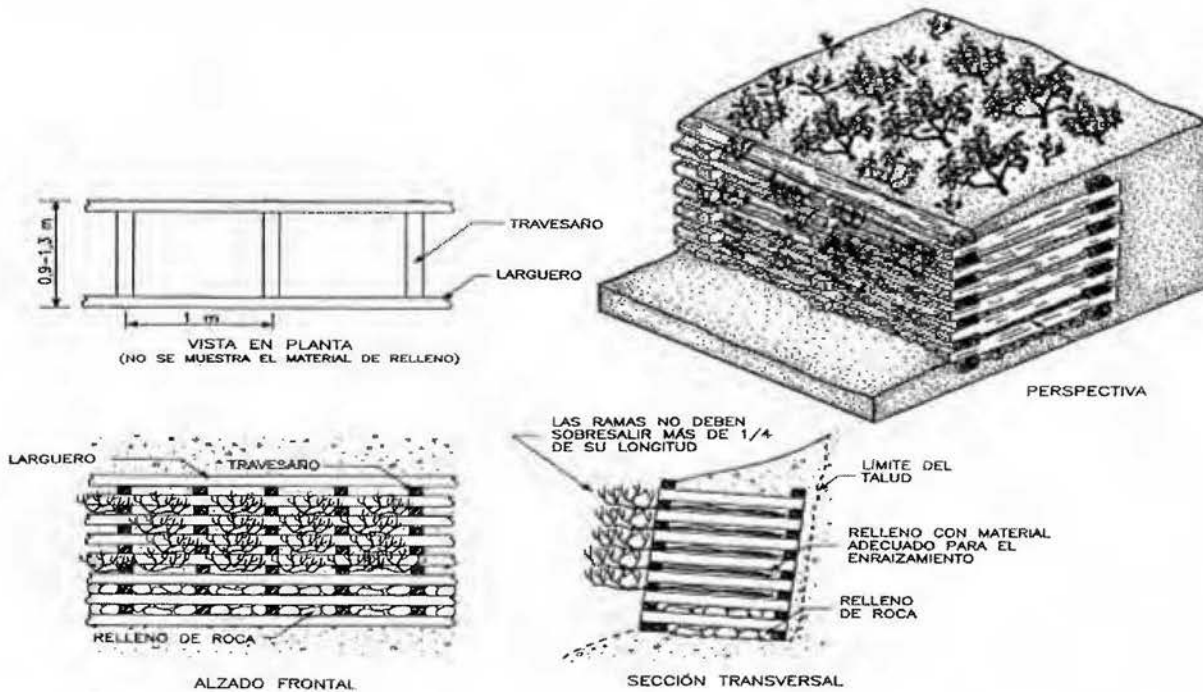


Figura 4.6 Muros vivos para estabilizar movimientos en masa.
Fuente: López y Mataix, 1999

4.3.5 Estructuras de tierra reforzada

En esta técnica se emplean capas alternas de tierra con ramas de poco espesor con capas de tierra compactada dentro de un geotextil con un espesor mayor. La función de las capas de tierra compactada dentro del geotextil es la misma que ejerce un muro de contención (ver figura 4.7); mientras que las capas de tierra con ramas que se encuentran entre dos capas de tierra compactada tienen la función de brindar anclaje a la estructura.

Este tipo de estructura se utiliza para taludes de pendientes fuertes ya que las capas de tierra compactada brindan una contención eficiente, por otro lado las capas de tierra con

ramas o matorral también tienen la función de drenaje horizontal que evacua el exceso de humedad de los taludes.

Para su instalación se recomienda realizar en el fondo de la excavación una contrapendiente de 10° a 15° . En el pie del talud se debe realizar una zanja y posteriormente rellenarla con roca de escollera para crear una superficie firme que sirva de soporte a la estructura de tierra armada. Sobre la roca de escollera se coloca una capa de tierra de 150mm de espesor con ramas entrelazadas que sobresalgan de un 20-25% sobre el límite de la zona excavada, además las ramas deben de estar en contacto con la cara del talud en el otro extremo. Posteriormente se coloca el geotextil por encima de la capa ya instalada mediante tablas guía, se compacta y se prensa el geotextil mediante estacas para formar el muro.

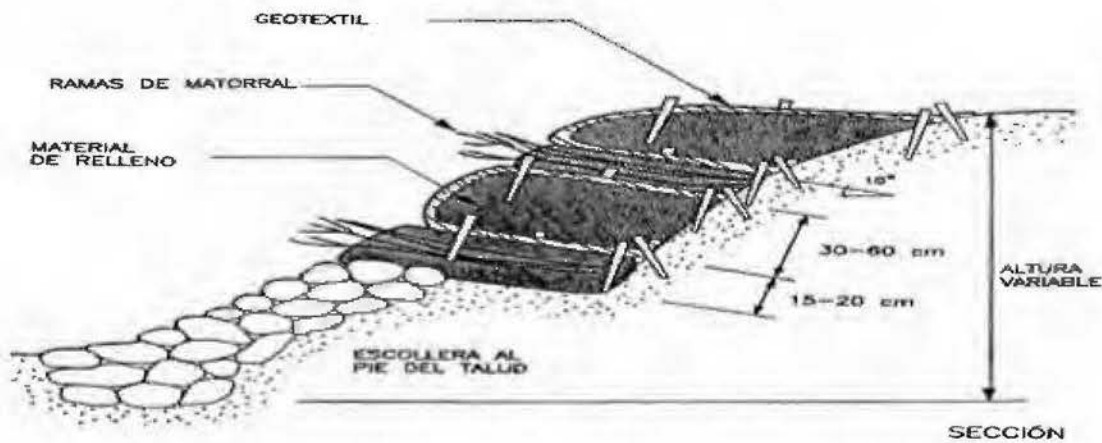


Figura 4.7. Estructura de tierra reforzada para la estabilidad de movimientos en masa.
Fuente: López y Mataix, 1999

4.3.6 Muros de roca y vegetación

Son muros de contención contruidos a base de piedras no cementadas, a los cuales se introducen ramas de matorral que enraízan en la superficie del talud. La función de estas ramas es anclar y amarrar las piedras al talud, tal como se muestra en la figura 4.8.

Entre las desventajas que tiene este tipo de estructura es el no resistir la presión de fuerzas laterales intensas, aunque si funciona para evitar el socavamiento y el descalce, es importante notar que es adecuado construirlo cuando se quiere reducir la pendiente en la base del talud.

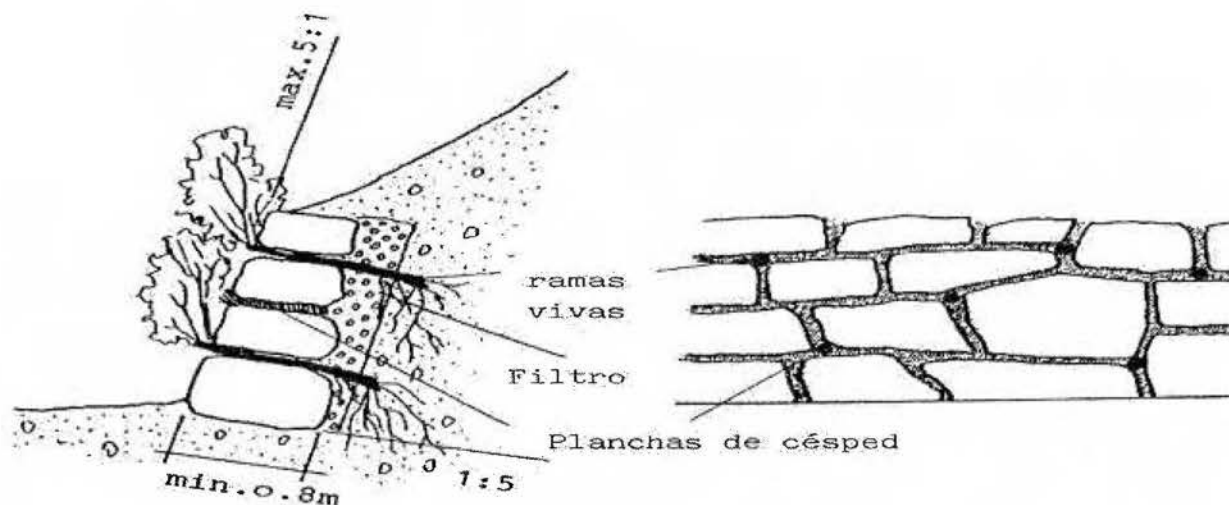


Figura 4.8 Muros de roca y vegetación
 Fuente: Manual de ordenación de cuencas hidrográficas, 1986

4.4 Implantación de la vegetación

La siembra es algo de suma importancia en el uso de la vegetación para la estabilidad de taludes. Consultados expertos sembradores de árboles, se define que la reproducción sexual por ejemplo hace que la especie desarrolle una raíz principal desde la semilla, a diferencia de la reproducción asexual por estacas o elementos vegetales para una misma especie. A manera de ejemplo, el higuerón sembrado con estacas desarrolla muchas raíces superficiales, no obstante si este es sembrado por semilla podría desarrollar una raíz pivotante. Algunas especies tienen diferentes sistemas radiculares que son particulares independientemente de si son sembradas por reproducción sexual (semillas) o asexual (estacas), sin embargo existen otras como el caso mencionado que vale la pena poner más atención, pues el higuerón podría ser una especie que desarrolle raíces muy profundas si se planta por semillas.

Existen distintas maneras de sembrar en un talud, los diferentes métodos son usados dependiendo de la dificultad para sembrar en el mismo y los costos que ello involucre. A continuación se presentan los métodos para la implantación de las especies vegetales:

4.4.1 Siembra

Existen diferentes métodos para sembrar a continuación se presentan algunos de los más comunes:

➤ Siembra hidráulica o hidrosiembra

La hidrosiembra es una técnica utilizada para la restauración ambiental que consiste en la proyección de una mezcla de semillas y otros elementos sobre el terreno. Es utilizada para conseguir una siembra más fácil y rápida y porque sus condiciones aseguran una mayor germinación, por consiguiente más posibilidades de revegetación del terreno.

• *Ventajas de la hidrosiembra*

- La vegetación se establece un 20-25 % más rápido que con cualquier otra alternativa mecánica o siembra manual.
- Las semillas y abonos se distribuyen uniformemente.
- El mulch asegura unas condiciones favorables para una rápida germinación.
- Se pueden alcanzar grandes alturas en taludes difícilmente asequibles.
- Ciertos tipos de mulch son capaces de aportar, por sí solos, protección temporal frente a la erosión.

• *Dónde y cuándo no está recomendada esta técnica*

- En zonas con precipitaciones muy bajas y variables con temperaturas extremas en verano.
- Si hay una fuente de semillas cerca del talud y los mecanismos de dispersión permiten la colonización natural del mismo a corto plazo.

➤ Voleo convencional

La siembra por voleo convencional consiste en la distribución de semillas directamente en la superficie del suelo, dependiendo de la accesibilidad del terreno se puede hacer ya sea de manera manual o mecánica.

Las semillas pueden ser puestas de manera superficial en terrenos que contengan grietas o materiales de textura gruesa, mientras que si son terrenos con suelos más finos se recomienda utilizar mulch o enterrar la semilla para que no se vea expuesta a la desecación y al arrastre.

Para taludes se recomienda sembrar de manera ascendente y en varios sentidos de manera que la parte alta del talud y los bordes contengan más semillas.

➤ Siembra en hoyo o por puntos

Siembra manual en el que se introducen las semillas en hoyos excavados. La profundidad y distancia entre hoyos es variable dependiendo de la especie y del volumen del follaje que se quiera lograr. Para estabilidad de taludes es recomendable un follaje medio debido a que el viento puede afectar las especies más grandes al ser arrancadas del suelo por la resistencia que generan las que poseen una cobertura vegetal o con copa muy densa. Usualmente los hoyos tienen profundidades entre los 10 a 20 cm con diámetros entre 10 a 15 cm y la distancia entre hoyos es aproximadamente de 1 a 5 m.

➤ Siembra en surcos o hileras

La técnica consiste en depositar semillas en surcos abiertos ya sea mediante el uso de disco o con rejas asurcadoras, cuando se ha depositado la semilla se procede a rellenar los surcos y se compacta mediante rodillos.

Para taludes esta técnica no resulta muy adecuada debido a que los surcos se deben realizar en pendientes suaves y con una buena fertilidad de suelos y con pocas piedras.

4.4.2 Plantación

La plantación se utiliza especialmente cuando las semillas no germinan bien en una zona determinada, por ende se suele introducir algún complemento nutricional para las especies las cuales son introducidas en hoyos con compost, estiércol, fertilizantes etc.

Para la estabilización la más utilizada es la plantación de esquejes, en el empleo de esta técnica es importante el tamaño de la planta, así como las condiciones a las que se va a exponer para analizar que especies utilizar, como condiciones de suelo, clima pendiente etc.

Se dan a continuación algunas recomendaciones del uso de la vegetación para afrontar los diferentes problemas específicos que pueden presentar los taludes y el cómo resolverlos.

➤ Plantación en taludes con problemas de erosión superficial

Una técnica muy utilizada para resolver este problema es mediante los cespedones, son también llamados tepes, cospes, cuadros de zacate, etc, y el término se refiere a porciones de tierra cubiertas por césped la cual se encuentra amarrada por las raíces, ésta se obtiene cortando el suelo en forma rectangular en un vivero para posteriormente ser trasladada a otro sitio. Los beneficios del uso de este método es que los sedimentos se ven atrapados por la vegetación de porte bajo eliminando los problemas de saturación en los sedimentadores y en las cunetas.

Es una técnica relativamente más costosa que otros métodos de revegetación, y se utiliza cuando:

1. Existen zonas con procesos muy activos de erosión.
2. En taludes que tengan mucha longitud de pendiente, se deben instalar de forma cruzada o intercalada las líneas de césped para que posteriormente colonice el talud.

➤ Plantación en taludes expuestos al viento

Se deben tomar medidas para proteger los ejemplares plantados, algunas de las medidas son las siguientes:

1. Plantar especies que sean resistentes al viento, posteriormente se deben plantar especies de porte más bajo, o en su caso las especies que estarán en el talud.
2. Como medida preventiva también se recomienda proteger a los arboles mediante protectores plásticos individuales para dar refugio a las plantas.
3. Se deben instalar pantallas corta vientos, estas plantaciones deben realizarse perpendicularmente a la dirección del viento dominante y a sotavento de la pantalla.

➤ Plantación en taludes con suelos muy secos

El objetivo primordial para ayudar a este tipo de taludes es elevar la tasa de infiltración. Esto se puede lograr mediante la colocación de productos que retengan la humedad en el hoyo excavado para plantar la especie vegetal, realizando riegos periódicos y también terrazas con contrapendiente para que se recoja el agua y se concentre en estas áreas para las raíces de los arboles.

Capítulo 5

Resultados de giras de campo y casos prácticos de la vegetación en taludes

Las giras al campo se realizaron para observar la vegetación existente en las distintas zonas de vida de Costa Rica. El eje central es comparar algunas especies que se recomendaron en capítulos anteriores con las observaciones en campo. Al mismo tiempo se busca establecer las ventajas del uso de especies vegetales tanto de porte bajo, como árboles o arbustos en los taludes. Debido a la deforestación que se realiza en algunos proyectos en parte por el desconocimiento del sistema radical de algunas especies.

La idea de las visitas al campo es ver también como se siembra en los taludes, y cómo se ha dado el avance de la vegetación en el tiempo. Por esta razón se visitaron 3 proyectos del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) que se encuentran en tres grupos para describir un poco el proceso con el tiempo como medida:

Fase 1: se visitan taludes en construcción como es el caso de Toro III.

Fase 2: se observan taludes entre 2 a 5 años, se ubican en esta categoría PT Garabito, ST Palmar Norte.

Fase 3: comprende proyectos con más de 10 años de antigüedad, como es el caso de Toro II, CP Miguel Dengo (ArCoSa).

Otra parte que se incluye dentro de la investigación es observar especies que se desarrollan de manera natural en taludes debido a que podrían servir para su estabilización.

5.1 Sistema radical de las especies vegetales observadas en campo

En las giras realizadas se aprovecharon los caminos o rutas nacionales para observar raíces expuestas de algunas especies. Durante la investigación se puede apreciar como la literatura no siempre se apega a la realidad según lo observado en el campo. Algunas especies vegetales desarrollan raíces muy extensas que no se mencionan en la literatura. Hay que notar que se necesita una investigación en el tema de los sistemas radicales para tener

conclusiones más contundentes. No obstante es importante no descartar algunas especies que se cree solo desarrollan raíces superficiales, cuando en realidad pueden servir en gran medida para dar anclaje y soporte a la masa de suelo.

5.1.1 Sistemas radicales de las especies observadas en los taludes de la zona norte

En la figura 5.1 se presentan especies como el Roble Sabana (a), Coyol (b), Guanacaste (c) y Madero Negro (d) en el orden respectivo. Para el caso del Roble Sabana la copa del árbol no tiene la misma extensión que el sistema radical lateral, desligando de esta forma la teoría con lo encontrado en el campo. Este ejemplar supera los 9 m de extensión lateral y unos 3 a 4 m de profundidad, mientras que la copa tiene un diámetro de alrededor de 3 a 4 m. Para el caso del Coyol (b) desarrolla raíces secundarias de 3 a 4 m de profundidad por lo que se supone que tiene una raíz pivotante más profunda la cual no se observó. Según la teoría estas especies son aptas para la estabilidad de taludes debido a sus raíces fibrosas amarran bien el suelo pues le brindan estabilidad tanto al árbol como a la masa de suelo. El árbol de Guanacaste (c) y el Madero Negro (d) observados tenían raíces secundarias de aproximadamente 4 m de longitud.

Para esta ejemplificación de algunas especies comunes encontradas específicamente en la provincia de Guanacaste, se establece que la recomendación de las mismas en el cuadro 6.1 puede ser fiable para la estabilización de una ladera. Con un ejemplar de una especie, no se pueden generar conclusiones, no obstante la observación apunta a que las especies recomendadas e igualmente vistas en campo tienden a establecer que son especies muy funcionales.

Otras especies que se desarrollan bien y se encontraron sistemas radicales profundos y extendidos en provincias como el norte de Puntarenas, Alajuela y Heredia son: Almendro de Montaña, Lagartillo, Chaperno, Higuierón, Jaúl, Lengua de Vaca, Flor de Itabo, etc. Estas especies no se encuentran en el cuadro 6.1 debido a que no se encontraron fuentes secundarias en las cuales se estableciera el tipo de raíz, pero con una investigación de sus sistemas radicales se podría establecer si son aptas o no para los propósitos de esta investigación.

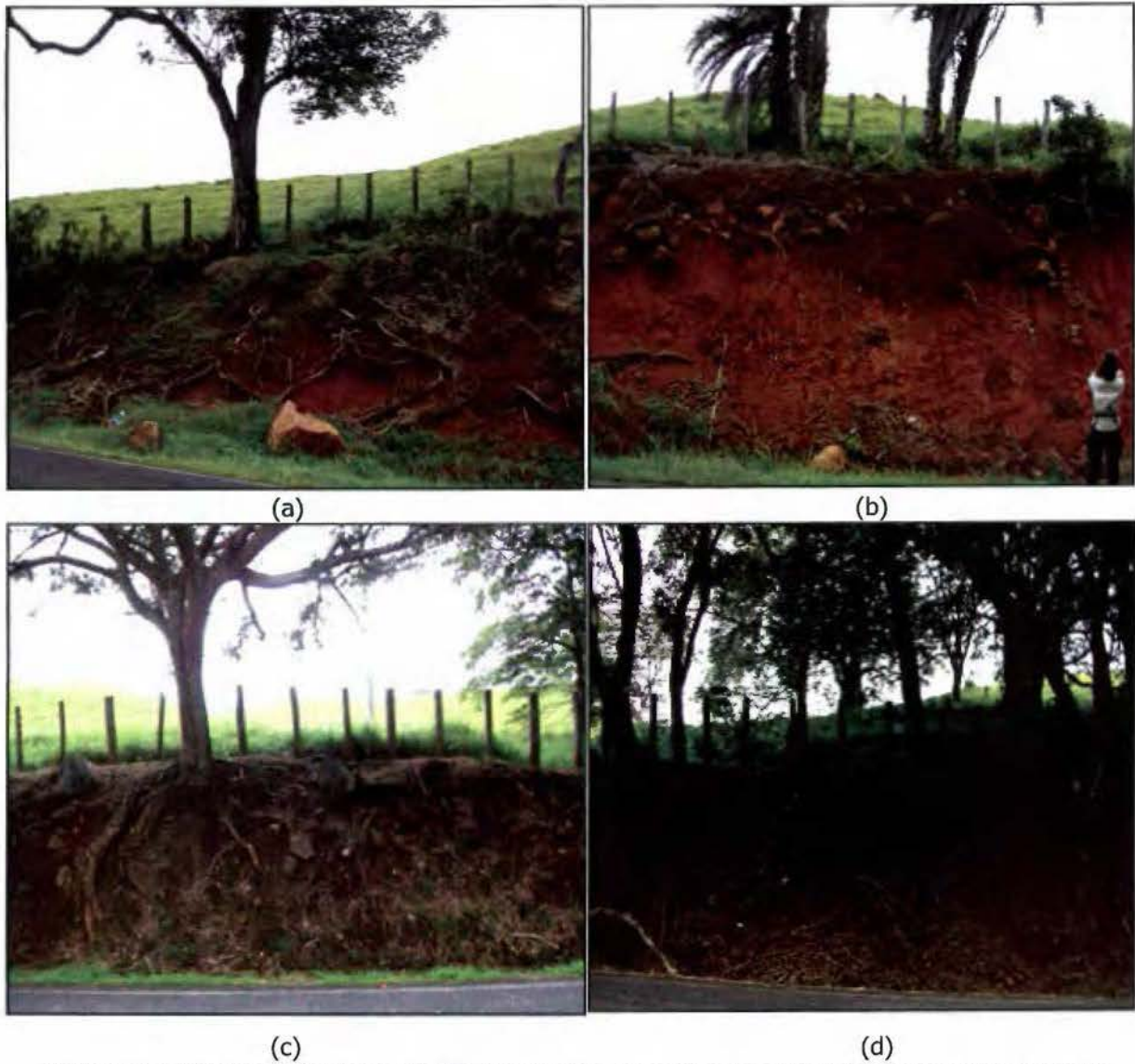


Figura 5.1 Algunas sistemas radicales observados en campo de especies recomendadas para la estabilización de taludes
Fuente: Silva, 2012

En las rutas nacionales se aprecia también que existe mucha erosión producto del goteo de los árboles y a la poca vegetación con porte bajo para proteger el suelo de este fenómeno. Otro de los aspectos observados fue la presencia de vegetación exótica que por competencia puede generar mortalidad en otras especies. Tal es el caso del pino, el cual produce un fenómeno llamado alelopatía, que consiste en que el árbol va desechando las hojas desmejorando la calidad en los suelos generando escasas de nutrientes en la parte más superficial para las especies de porte más bajo. Las especies que producen este fenómeno deben ser de cuidado en el caso de una plantación en un talud, pues puede eliminar las

especies para control de erosión lo que puede ocasionar una socavación y por lo tanto la falla.

5.1.2 Sistemas radicales de las especies observadas en los taludes de la zona sur

Los taludes observados en carretera (del Cerro de la Muerte hasta Palmar Norte) fueron analizados también para especies arbustivas que se volcaban sobre el talud. Esta condición se aprovechó para observar las raíces de algunas especies y al mismo tiempo en qué tipo de talud se desarrollaban, si era en uno rocoso, arcilloso etc. Posteriormente se tomaron algunas medidas de la longitud de los sistemas radicales. En la figura 5.2 las especies en su respectivo orden son un tipo de Melastomataceae (e), familia de la Araliaceae (f), Ron Ron (g) y un Indio Desnudo (h).

En las imágenes (e) y (f) de la figura 5.2 las especies se encontraban en taludes arcillosos y las raíces estaban expuestas debido a la erosión hídrica, mientras que en la imagen (g) las raíces buscan meterse entre las grietas del macizo rocoso fracturado. En la imagen (h) se dio un volcamiento de la especie producto del viento, se puede analizar entonces la longitud de las raíces de las diferentes especies mediante estos fenómenos debido a que el comportamiento radical varía según el tipo de suelo. Las especies para sobrevivir recurren a todos los métodos de sobrevivencia, por ende una especie como el ron ron (g) extiende sus raíces para recurrir a los nutrientes que pueda encontrar en las grietas del macizo.

Al realizar un análisis más exhaustivo del comportamiento radical para una investigación que se centre en este tema, según lo observado en las carreteras, se debe tomar en cuenta el tipo de suelo en el que se esté desarrollando la especie en un proceso experimental; así como las condiciones del clima y los nutrientes que sean accesibles para la especie.

Las longitudes de las raíces para el caso de la imagen (e) de la figura 5.2 es de aproximadamente 3 m, para (f) la raíz secundaria de 6 m, para (g) la raíz secundaria más extensa fue de 3 metros. Lo que se busca explicar con estas mediciones es el hecho del potencial de las especies forestales al desarrollarse en un talud por la vía natural o sin la intervención y cuidados del hombre. Tomando en cuenta que estas especies se desarrollaran con personas expertas, se podrían obtener resultados más o menos positivos, no obstante es necesaria la intervención para tener una idea más clara del comportamiento mecánico que

pueden generar en un talud al cual se busque estabilizar por medio de la bioingeniería de suelos o con la biotecnología.

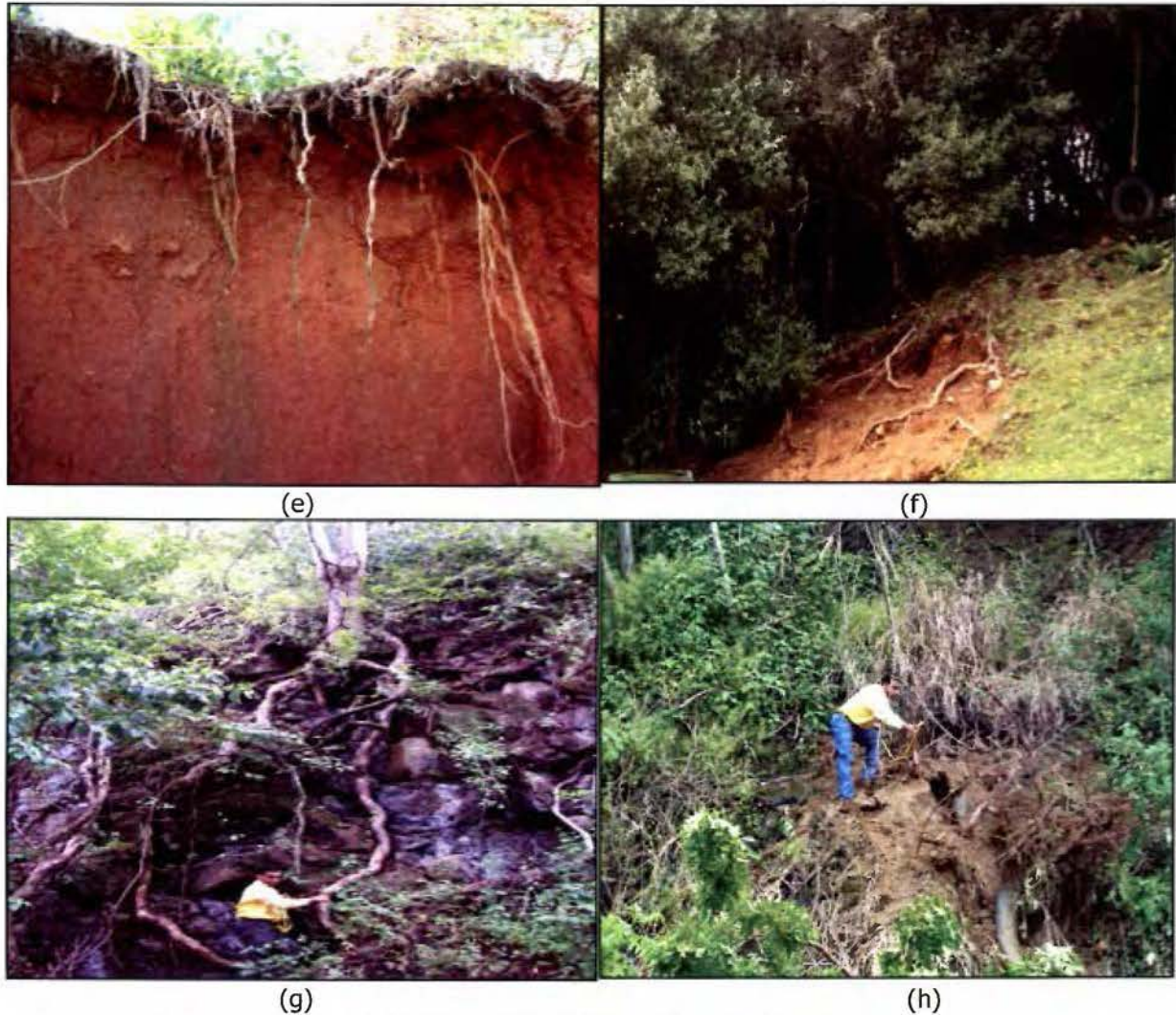


Figura 5.2. Sistemas radicales de especies observadas en la Ruta Nacional 2
Fuente: Silva, 2012

Las especies observadas no necesariamente son recomendables para estabilizar taludes, pero pueden proporcionar una visión de la capacidad para enraizar de algunas especies arbustivas.

El autor (Candell et al., 1996) expone algunas mediciones de la profundidad de las raíces de especies alrededor del mundo, el estudio realizado fue a más de 290 observaciones en las cuales se obtuvo un promedio de profundidad de raíces de 4.6 ± 0.5 m. A pesar de ello es imprescindible tomar acción en un estudio para los sistemas radicales de las especies de nuestro país.

5.2 Taludes en la Represa Hidroeléctrica Toro Amarillo

La Represa Hidroeléctrica Toro Amarillo es un proyecto del ICE el cual está conformada por las plantas operacionales Toro I, Toro II y Toro III. En la gira realizada se visitaron las últimas dos, las cuales están ubicadas en la provincia de Alajuela, en el cantón de Valverde Vega, distrito de Toro Amarillo.

5.2.1 Talud camino a casa de maquinas en Toro II

➤ *Descripción del talud*

El talud tiene una altura aproximada de 16 m, este no cuenta con bermas ni contracunetas, además existe una cuneta en el pie del talud que recoge el agua de escorrentía. Hay presencia de mucha variedad de especies vegetales tanto de porte bajo como arbustivas. El talud es un macizo rocoso fracturado en el cual ocurren desprendimientos cada cierto tiempo especialmente en las zonas donde no hay mucha vegetación como por ejemplo alrededor de las cascadas.

➤ *Regeneración natural*

Este es un caso de suma importancia a analizar, dadas las circunstancias en un lapso de tiempo de 18 años se puede apreciar como un talud se regenera naturalmente sin la intervención humana como se muestra en la figura 5.3. En el caso de los taludes revegetados con especies vegetales que cumplan con características para la estabilización, es necesario darle mantenimiento a los mismos, ya que las especies pioneras son las que rigen sobre las demás como ejemplifica este talud. Es decir si se siembran especies vegetales en un talud es necesario eliminar aquellas que puedan ganarle la competencia por nutrientes a las que realmente se necesitan para anclar el talud.

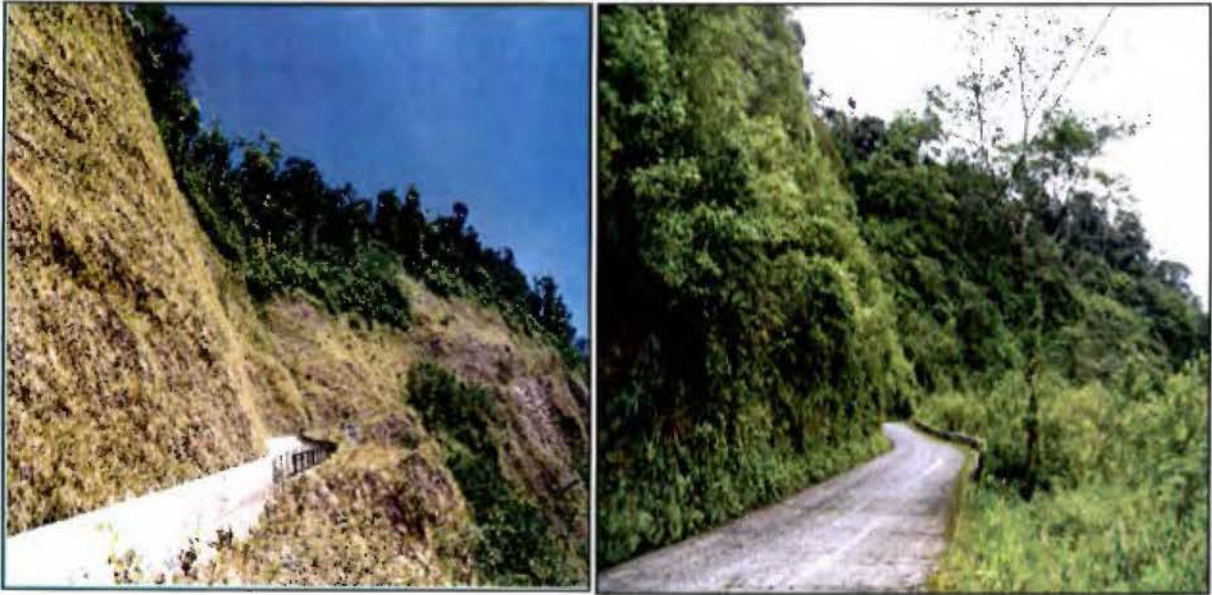


Figura 5.3 Camino a casa de máquinas en Toro 2, comparación en el tiempo comprendido entre 1994 a 2012
Fuente: ICE, 2012

La regeneración natural empieza con especies de porte bajo y posteriormente van colonizando especies de mayor porte. Los taludes que presentan rocas fracturadas son delicados en cuanto al uso de vegetación pues se debe analizar si pueden generar desprendimientos por la introducción de las raíces de las especies arbustivas en las grietas de los mismos.

➤ *Algunas soluciones posibles para evitar los desprendimientos en taludes rocosos*

El uso de la hidrosiembra es un buen método para tratar taludes con pendientes mayores a los 45° y que sean de difícil acceso para la siembra manual. Lo más importante es utilizar especies herbáceas que sean ligeras para el talud y que absorban bastante la humedad, al mismo tiempo que eviten o generen resistencia al agua de escorrentía para evitar la socavación entre los fragmentos rocosos y de esta manera evitar los desprendimientos.

El uso de especies arbustivas es otra opción, se pueden instalar esquejes entre las rocas, no obstante es una aplicación debatible pues en este tipo de manejo las raíces pueden abrir la roca y generar un talud con mayor cantidad de desprendimientos. Consultando ingenieros forestales en cuanto al comportamiento de los árboles, éstos exponen que las raíces tienden a bifurcarse es decir dividirse en dos para evitar “intentar” abrirse campo entre las rocas, no

obstante sería mejor la recomendación de utilizar hidrosiembra, ó experimentar más en este tipo de taludes con vegetación arbustiva para analizar mejor su comportamiento.

Un caso en particular es el terremoto de Cinchona ocurrido el 8 de enero de 2009. Este talud al ser tan antiguo se vio afectado; pues en él, ocurrieron desprendimientos especialmente en lugares donde no existía vegetación como alrededor de las cascadas. Esto porque la escorrentía superficial logra abrir más los espacios entre las grietas del macizo. Al ocurrir un movimiento telúrico, lo más probable es que se deprendan algunas rocas como ocurrió en este caso.

Las raíces de las especies vegetales, en especial las herbáceas por ser livianas, pueden absorber el agua y al mismo tiempo evitar la escorrentía superficial.

El sistema mecánico de algunos arbustos que crezcan entre las grietas podrían eventualmente ayudar en caso de sismo, por el refuerzo que estos generan a la masa de suelo para evitar desprendimientos, ó en el caso más común deslizamientos superficiales como se explica en la teoría del capítulo 2.

5.2.2 Talud en la tubería de alta presión de Toro III

➤ Descripción del talud

La pendiente es de 45° con bermas de 3m de ancho, los materiales en esa zona son limos arenosos o cenizas en la parte superior, y hacia la parte inferior hay lahares y un tipo de roca blanda. En el talud no hay ni cunetas ni contracunetas. La altura máxima en esa zona es de 12 m y 50 m de ancho.

➤ Uso de cespedones para el control de erosión y algunas recomendaciones para el uso de vegetación de porte más alto

En el talud se utilizaron cuadros de césped para el control de erosión como se muestra en la figura 5.4, sin embargo se pudo haber plantado arbustos ubicados en las bermas del talud. El uso de especies forestales puede beneficiar en la parte hidrológica, debido a la mayor extracción de agua por parte de las raíces. La parte mecánica no involucraría un gran aporte debido a que el talud ha sido estabilizado geoméricamente. Conociendo la resistencia de las raíces se podría utilizar este tipo de geometría con menores factores de seguridad para este

tipo de taludes que se vean complementados con el uso de especies forestales y así aprovechar más la parte mecánica del sistema radical.

En cuanto al uso de vegetación utilizada, se considera que este tipo de pasto es un poco bajo pero tiene una buena cobertura, acompañado de árboles o arbustos tal vez no sea el más idóneo. El talud representa una buena forma geométrica para los propósitos de la investigación, debido a que lo que se busca es sembrar las especies arbustivas que sean ligeras en las bermas de los taludes, mientras que en las tres caras del talud se debe sembrar como en este caso especies para el control de erosión con algunos arbustos de muy poco peso en las caras. Por otro lado para taludes de este tipo se podrían sembrar árboles de un porte más alto y pesado al pie del talud.



Figura 5.4 Talud en la tubería de alta presión, uso de pasto dulce para el control de erosión. Comparación en el tiempo de julio de 2011 a agosto de 2012
Fuente: ICE, 2012

El uso de especies efímeras (crecen y mueren en un periodo corto de tiempo) aportan una resistencia mecánica muy rápida y al mismo tiempo un buen control del agua subterránea, además usualmente son especies pioneras que no necesitan de muchos cuidados.

5.2.3 Talud con deslizamiento rotacional en Toro III

➤ Descripción del talud

Talud de 4 m de alto, con pendiente de 45°, con los mismos materiales que el talud anterior. El talud no cuenta con cunetas ni contracunetas.

➤ Beneficios de la vegetación arbustiva en el talud

Como se puede apreciar en la figura 5.5 la parte con más especies arbustivas no tuvo ningún tipo de deslizamiento a pesar de no estar estabilizado geométricamente. Se puede suponer que el sistema radical de las especies pudo dar un aporte tanto mecánico como hidrológico para la prevención de un deslizamiento en el área.

Los tepes o cuadros de césped por otro lado aportan peso al talud, sin embargo al no enraizar lo suficiente no aportan resistencia adecuada, es por esta razón que son especies cuyos únicos propósitos son el control del agua de escorrentía y la erosión. El peso de los cuadros de césped además son parte de los factores que dan inestabilidad, para este caso se puede analizar el hecho de que no existen especies arbustivas que aporten estabilidad a la masa de suelo, es decir cuando se controla la erosión con especies vegetales de porte bajo también es importante considerar especies más grandes o arbustivas que puedan dar resistencia mecánica al talud. Por ejemplo si se hubieran sembrado arboles al pie del talud o especies arbustivas de bajo peso en la mitad del mismo la falla pudo no haber ocurrido.

Para reparar este tipo de fallas se pueden utilizar los paquetes de matorral (técnica que se explica en el capítulo 4). Las soluciones a este tipo de fallas son viables mediante el uso de la vegetación, es un punto de suma importancia a efectuar pues la idea es tanto economizar como generar el menor impacto posible al ambiente.



Figura 5.5. Deslizamiento en el talud producto de la lluvia que genera disminución en la resistencia del suelo.
Fuente: Silva, 2012

5.2.4 Talud en Toma la Flor, Toro III

➤ Descripción del talud

Este talud cuenta con una pendiente de 45° , los materiales son limosos con aparición esporádica de betas de material arenoso en condición suelta, las cuales comprometen la estabilidad del talud. El talud no tiene contracuneta, además sus dimensiones son de aproximadamente 3m alto y 40m de ancho.

➤ Uso de biomantas para el control de erosión

Como medida preventiva para la erosión y posible activación de deslizamientos se utiliza una biomanta degradable de paja y coco de doble red, la cual permite a su vez el crecimiento de vegetación (ver figura 5.6). Además se realizara una cuneta en la parte superior del talud ya que a éste le llega perpendicularmente un cauce de aguas de escorrentía de la propiedad vecina.



Figura 5.6. Uso combinado de biomantas y cespedones para control de erosión.
Fuente: Silva, 2012

El uso de biomantas para el control de erosión es muy funcional como medida preventiva especialmente en zonas donde existe mucha precipitación, debido a que el agua puede lavar los taludes y por ende, afectar la germinación de las especies.

Las biomantas se podrían aprovechar para la germinación de las semillas de especies forestales, como se había explicado en capítulos anteriores las especies desarrollan diferentes sistemas radicales dependiendo de si se reproducen vía sexual (por semillas) o por la vía asexual (estaquillado). Al no permitir que el suelo se lave las semillas se quedan en una posición fija, un claro ejemplo de este procesos son los árboles que nacen en los taludes por regeneración natural cuya semilla se ha quedado atrapada en estas biomantas.

5.2.5 Talud con enrocado en la base (Toma la Flor, Toro III)

➤ Descripción del talud

Tiene una pendiente de 45°, con una altura de 6 m, además se compone de un limo arcilloso plástico y con alto porcentaje de humedad natural en su estrato superior, mientras que en el inferior es de toba. Para estabilizarlo se diseñó una plantilla de drenajes de 9.0 m de profundidad con enrocado en su base como se aprecia en la figura 5.7.



Figura 5.7 Estabilización mediante enrocado
Fuente: Silva, 2012

➤ *Posible solución biotecnológica para el talud*

Este caso es de atención debido al desconocimiento de las técnicas de bioingeniería de suelos y biotécnicas para estabilización de taludes en el país. El enrocado utilizado pudo haber sido aprovechado para brindar una estabilización mediante especies arbustivas que fueran puestas en medio de las rocas como el método utilizado en el capítulo 4 sección 4.3.6.

Para esta zona se debió haber utilizado las especies recomendadas en el cuadro 6.1 y mediante la consulta a ingenieros forestales para su implantación, se podría haber anclado el enrocado al talud mediante raíces de las especies.

Si se siembran especies forestales se genera un menor impacto al ambiente, se secan los taludes por la absorción del agua por parte de las especies lo que evita los problemas de saturación de los drenajes y al mismo tiempo se brinda estabilidad mecánica al talud, al brindar peso en la base con especies forestales de densidades (PEB) altas como algunas observadas en el cuadro 6.1. El enrocado puede ser una solución inmediata, pero se podría sustituir en un lapso muy largo de tiempo a medida que crecen las especies muy pesadas.

5.3 Talud en la Planta Térmica Garabito

La Planta Térmica Garabito es un proyecto del ICE que se encuentra en la provincia de Puntarenas, en el cantón de Montes de Oro distrito de San Isidro.

5.3.1 Tratamiento del talud con hidrosiembra

➤ Descripción del talud

El talud tiene una altura aproximada de 7 m con una inclinación de 45°, presenta un cascajo compactado en la superficie y material arcilloso en su parte interna.

➤ Resultados de utilizar la hidrosiembra

El uso de la hidrosiembra (ver figura 5.8) usualmente es para el control de erosión y se utiliza con especies de porte bajo debido a la densidad de semillas por metro cuadrado. Antes del uso de la hidrosiembra el talud presentaba muchos problemas de desprendimientos grandes de suelo debido a la acumulación de agua dentro del talud. Con ayuda de este método de siembra se logra establecer la vegetación para que pueda penetrar entre las grietas que se encuentran en el cascajo de arena compactada. Las raíces de las braquiarias son capaces de absorber gran parte de la humedad en el talud, es por esta razón que la solución del uso de esta técnica fue de gran beneficio.



Figura 5.8 Uso de la hidrosiembra para suelos difíciles
Fuente: Silva, 2012

Es muy importante observar las condiciones del talud para elegir el tipo de vegetación que se quiera implantar. En este caso el uso de especies arbustivas tal vez no hubiera sido la mejor recomendación debido a que al ser las raíces más fibrosas, estas pueden generar problemas en el cascajo y por ende causar desprendimientos de suelo. Además el cascajo no tenía muchas grietas por esto se cree que para el desarrollo de una especie arbustiva hubiese sido difícil crecer en tan malas condiciones.

Las especies braquiarias una vez establecidas se nota como disminuyen la cantidad de sedimentos en la cuneta y en el sedimentador. Es vital el uso de estos elementos para tener un mejor control de las aguas pues la vegetación por sí sola no puede con las cantidades de precipitación que cae en la zona.

La hidrosiembra es una técnica muy utilizada en zonas de difícil acceso para la siembra, a su vez los costos de la misma pueden ser muy competitivos en comparación con otros métodos como la siembra en hileras o el voleo convencional. La germinación de las semillas es bastante efectiva debido a que el gel mantiene las semillas pegadas al talud, lo cual permite un contacto que logra que el mismo se logre establecer de una mejor forma.

5.4 Taludes en ArCoSa

ArCoSa es un proyecto del ICE y reúne a los complejos Arenal, Corobicí y Sandillal. Además cuenta con el Centro de Producción Miguel Dengo el cual fue visitado al igual que el Centro de Producción Arenal. El CP Miguel Dengo se encuentra en el cantón de Cañas, distrito de Cañas y el CP Arenal en el cantón de Tilarán, distrito de Tilarán.

5.4.1 Talud en el Centro de Producción Arenal

➤ Descripción del talud

Talud que presenta problemas de erosión y manejo de aguas, tiene una altura aproximada de 8m y se encuentra a aproximadamente 30 m del embalse arenal por lo que recibe bastante viento. El talud consta de una mezcla de especies tanto arbustivas como de porte bajo, al mismo no se le ha dado ningún tipo de tratamiento. Se pueden observar diferentes

especies como pastos y especies de porte más alto o arbustivos como guayabos, lagartillos, flor de itabo, etc.

➤ Combinación de vegetación de porte alto con otra de porte muy bajo

En la cara del talud se aprecian problemas de erosión por el mal manejo del agua en el mismo como muestra la figura 5.9. Esto indica que una vegetación de porte excesivamente bajo como lo es el césped combinado con especies de porte más alto no es la mejor solución para la correcta estabilización de un talud. Esto se puede deber al goteo de los árboles y al incorrecto manejo de la escorrentía superficial como ya se ha comentado por falta de elementos como contracunetas, cunetas canales desviadores, etc. El césped para control de erosión debe ser bastante alto para atrapar las pequeñas partículas de suelo y al mismo tiempo debe tener las raíces suficientemente fibrosas y largas para establecer un entretejido que amarre el suelo superficial.



Figura 5.9 Talud con problemas de erosión
Fuente: Silva, 2012

Es importante acompañar la vegetación arbustiva o de porte más alto de especies de porte bajo, pero no tan bajo para ser afectado por el goteo de los árboles como ocurre en este

caso. De no complementar las especies vegetales, éstas pueden lavar el suelo alrededor de los árboles y por ende hacerlos inestables en el talud, al no tener el suficiente anclaje en sus primeras etapas de vida.

5.4.2 Trinchera en la tubería de baja presión del CP Miguel Dengo

➤ Descripción del talud

Ambos taludes tiene una altura aproximada de 8 m, y forman parte de la trinchera que tiene una extensión de 3 Km, el proyecto fue realizado hace más de diez años por lo que los taludes se revegetaron naturalmente.

➤ Talud con serios problemas de manejo hídrico y tratamiento preventivo para esta situación

El mal diseño geométrico o el poco mantenimiento en el talud puede ser muy problemático, en ambos taludes observados. En la trinchera se aprecian arboles con su raíz totalmente expuesta, esto es un indicador de los niveles altos de erosión que contiene la misma.

La poca limpieza en la contracuneta arriba del talud, generó una acumulación en un punto del mismo de ramas, lodos, piedras entre otros, que a su vez, realizaron una especie de tapón la cual antes de la falla no estaba revestida (ver figura 5.10). Poco a poco el agua fue generando presión en ese punto e infiltrándose, lo que ocasionó una gran cárcava que desencadenó en una problemática muy grave debido a la cantidad de material que cayó en la tubería de baja presión enterrada. Este problema sería peor si la tubería no hubiera aguantado dicha presión de tierra por encima de su estructura.

Otro problema que se detectó fue que el agua escurría hacia la cara del talud por lo que generó una gran cantidad de erosión afectando a algunos árboles y especies de porte más bajo. Esto se debe a que la contrapendiente arriba del talud tenía dirección hacia el talud, cuando debía estar dirigida hacia la contracuneta.

Los taludes que han sido colonizados por especies vegetales como es este caso, pueden ayudar a quitar la acumulación de agua dentro y fuera del talud es decir la escorrentía superficial y bajar el nivel freático. No obstante una observación que se debe citar es el hecho de que la mayoría de los taludes observados en los diferentes proyectos tienen fallas

por el mal manejo del agua. La vegetación puede generar un gran aporte en el manejo del líquido pero es evidente que no es la solución a todos los problemas de este tipo. En esta trinchera se evidencia que a pesar de existir muchos árboles en el talud y otras especies, no fue suficiente para evitar el error si existe un mal diseño geométrico y un mal mantenimiento en la zona.



(i)

(j)



(k)

- (i) Contrapendiente en dirección hacia la cara del talud.
- (j) Formación de cárcava de erosión, uso de piedras para reducir el impacto por caída de agua.
- (k) Exposición de los sistemas radicales de los árboles producto del agua de escorrentía.

Figura 5.10. Problemas presentados en el talud producto de la erosión y poco mantenimiento.

Fuente: Silva, 2012

5.5 Subestación Transformadora Palmar norte

La subestación de Palmar Norte es un proyecto del ICE que se encuentra ubicado en la provincia de Puntarenas, cantón de Osa, distrito de Palmar.

5.5.1 Taludes alrededor de la subestación

➤ Descripción de los taludes

Son un conjunto de 4 taludes con sus bermas. En la figura 5.11 se detalla una vista en planta. El Talud no 4 cuenta con una altura aproximada de 15 m, y del talud no 3 al talud no 1 la altura es de 3.5 m para cada uno, todos los taludes tienen una pendiente del 80% (ver figura 5.11).

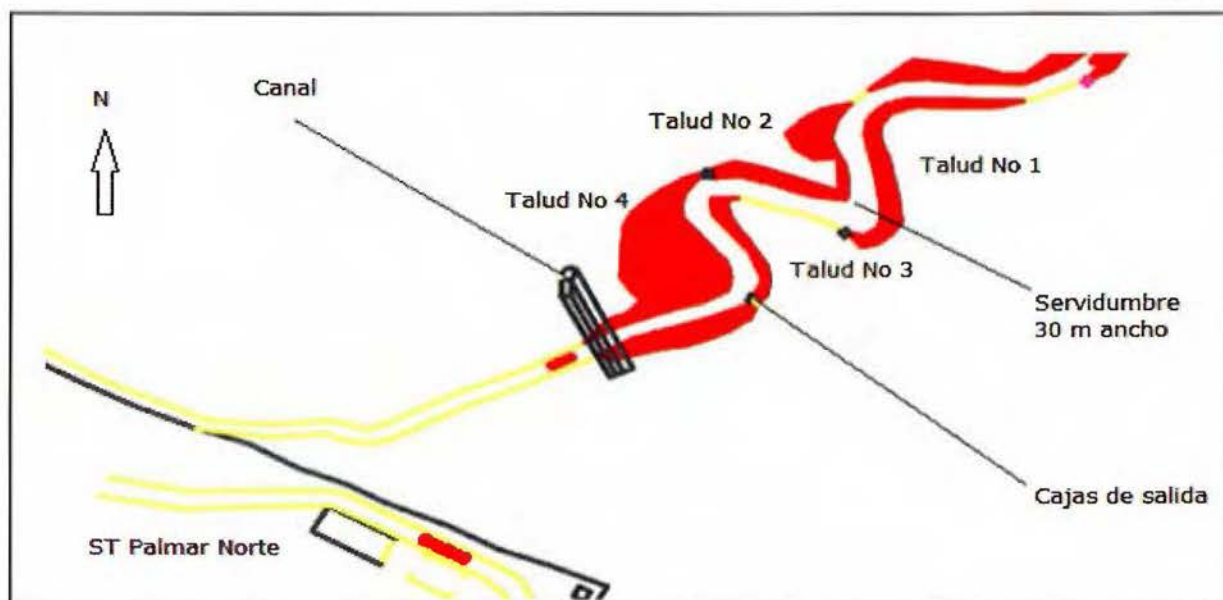


Figura 5.11 Vista en planta de los taludes en la ST Palmar Norte
Fuente: ICE, 2011

➤ Formación de cárcavas de erosión y bancos de sedimentos

Los problemas presentes por la erosión en este proyecto eran evidentes con cárcavas bastante profundas y extensas. Las laderas tenían problemas en sus caras debido a las altas pendientes que no tenían vegetación.

Las cabezas de los taludes presentaban derrumbes que cayeron al pie de los mismos, luego el material era arrastrado a los surcos, favoreciendo el arrastre de sedimentos. En la figura 5.12 se aprecia el proceso de transporte de sedimentos y el resultado del mismo en la imagen de la extrema derecha.



Figura 5.12 Formación de cárcavas de erosión y bancos de sedimento que contaminan una quebrada
Fuente: ICE, 2011

El agua de escorrentía generó surcos de 1,80 m de profundidad por 2 m de ancho y 2,10 m de largo y propicio la formación de nuevas cárcavas las cuales a su vez generaron una sola cárcava mucho más grande a lo largo del pie del talud no 4.

Estos taludes presentaban un serio problema del manejo de agua de escorrentía por lo que se recurrió a soluciones muy buenas tanto por la construcción de cunetas, cajas sedimentadoras, cortes geométricos adecuados para la estabilidad y revegetación de los taludes.

➤ Construcción de cunetas y cajas sedimentadoras

Para evitar la formación de los surcos al pie de los taludes se procedió a revestirlos con concreto para que no se generaran más huecos productos del agua de escorrentía. La construcción de cajas sedimentadoras fue de gran ayuda para eliminar los bancos de sedimentos en las quebradas y desviar el agua a una plantación de árboles de teca en un lote cercano.

Se construyó además una cuneta mucho más grande para el talud no4 debido a las dimensiones del mismo pues la altura era de aproximadamente 15 m, por ende el agua en la base socavaba y arrastraba gran cantidad de sedimentos.

En la figura 5.13 se aprecian las cunetas y la caja sedimentadora que ayudan en gran medida al control del agua de escorrentía.



Figura 5.13. Construcción de cunetas y cajas de salida al pie de los taludes
Fuente: ICE, 2011

La vegetación es muy importante para controlar el fenómeno de la erosión, sin embargo en un caso tan problemático como el presentado no es funcional por ende las especies a sembrar en este tipo de proyectos con tantos problemas deben ser complementadas con este tipo de estructuras para ayudar a mitigar el impacto del agua.

➤ Revegetación de los taludes para controlar el agua de escorrentía y los sedimentos

El exceso de precipitación en la zona ha demostrado que las biomantas de fibra de coco que se ubicaron en las caras de los taludes controlan muy bien la erosión superficial, lo que genera un menor arrastre de sedimentos finos en dirección a las cunetas. Aproximadamente a un año de la revegetación, esta se ha desempeñado bien con menor cantidad de sedimentos tanto en las cunetas como en el sedimentador.

Las especies utilizadas para la revegetación fueron zacate jengibrillo, caña india y bambú (ver figura 5.14). Para que el suelo tuviera mejor disponibilidad de nutrientes para estas especies se aplicó carbonato de calcio para subir el PH del mismo.



Figura 5.14 Revegetación de taludes con zacate jengibrillo
Fuente: ICE, 2011

Actualmente ha crecido vegetación de porte más alto con especies arbustivas que se encuentran en su etapa de crecimiento. Es importante identificar las especies mediante las inspecciones al campo pues pueden ser beneficiosas o más bien perjudiciales por el peso que generan al talud. Para ello se puede realizar un análisis de la estabilidad añadiendo estos elementos para evitar o no la tala de los árboles. Además existe una línea de alta tensión por encima de estos taludes por lo que la corta de árboles es necesaria debido a la altura que estos pueden alcanzar.

En algunos proyectos como es este caso las especies arbustivas no son del todo beneficiosas, tanto por el peso propio y por la línea de alta tensión que se encuentra por encima de ellas. A pesar de que no se arriesguen vidas humanas con el uso de especies forestales en caso de una inestabilidad en el talud, es evidente que en un proyecto con estas características se torna complicado la siembra de especies forestales.

En cuanto a la biomanta esta ya casi no existe en algunas zonas pues ya cumplió su papel y se está degradando en el suelo como se aprecia en la figura 5.15.



(l)

(m)

l: revegetación en el año 2011

m: vegetación observada un año después, 2012

Figura 5.15. Control de erosión con especies vegetales

Fuente: ICE, 2011

Las medidas tomadas en este proyecto son muy buenas en comparación con las del proyecto de ArCoSa. En ambos se puede comparar entre lo que se debe y lo que no se debe hacer. A un año de la revegetación del talud, las cunetas se encuentran limpias al igual que los sedimentadores lo cual quiere decir que la vegetación ha cumplido su papel y se ha evitado la formación de nuevas cárcavas. La visita al campo para este proyecto se realiza tanto por inspección por parte del regente de la parte ambiental como para la presente investigación. Es importante realizar este tipo de inspecciones para dar recomendaciones de limpieza y reportes de las condiciones de los taludes.

En el cuadro 5.1 se describen los casos prácticos que son de gran ayuda para complementar a la guía que se desarrolla en el siguiente capítulo. Cabe destacar que todos los taludes son naturales, es decir no tienen ningún tipo de relleno.

Cuadro 5.1 Taludes visitados a los diferentes proyectos del ICE

Proyecto ICE	Taludes visitados	Características geométricas del talud	Suelos en los taludes visitados	Problema en el talud	Solución
RH Toro Amarillo	<i>Talud en Toro II</i>				
	Talud camino a casa de máquinas	Altura: 16 m Pendiente: nd	Macizo rocoso fracturado	Desprendimientos	Vegetación y obras hidráulicas
	<i>Taludes en Toro III</i>				
	Talud entubería de Alta Presión	Altura: 12 m Pendiente: 45°	Limos arenosos en la parte superior, en la inferior roca blanda	Erosión	Vegetación de porte alto y bajo
	Talud con deslizamiento rotacional	Altura: 4 m Pendiente: 45°	Limos arenosos en la parte superior, en la inferior roca blanda	Estabilidad	Vegetación de porte alto
	Talud en Toma La Flor	Altura: 3 m Pendiente: 45°	Material arenoso en condición suelta	Erosión	Vegetación de porte bajo
	Talud con enrocado en la base	Altura: 6 m Pendiente: 45°	limos arcillosos plástico	Estabilidad	Vegetación entre las rocas
PH ArCoSa	Talud en CP Arenal	Altura: 8 m	nd	Erosión	Conformación de vegetación de porte bajo y alto
	Talud en Tubería de Baja Presión CP Miguel Dengo	Altura: 8 m para ambos taludes. Trinchera de 3 Km	nd	Estabilidad y erosión	Un buen diseño, Mantenimiento, y vegetación de porte bajo y alto
PT Garabito	Talud en la planta	Altura: 7 m Pendiente: 45°	Cascajo compactado y material arcilloso	Erosión	Vegetación de porte bajo
ST Palmar Norte	Taludes alrededor de la subestación	Conjunto de 4 taludes. Uno de 15 m y el resto de 3.5 c/u. Pendiente 45°	nd	Erosión	Vegetación de porte bajo con obras hidráulicas.

5.6 Especies vegetales observadas en los taludes de las diferentes zonas del país

En cada una de las giras se observaron las especies que crecen de manera natural en los taludes, por ello estas especies son de interés para una investigación debido a su potencial para enraizar. Algunas de las especies en el cuadro 5.2 pueden también apreciarse en las especies que son recomendables para la estabilización de laderas como las del cuadro 6.1.

En el cuadro 5.2 se denota el proyecto del ICE visitado así como su ubicación geográfica y las zonas de vida que se dan en esa localización. Las especies observadas se dan en gran cantidad tanto en los taludes visitados como en sus alrededores lo que denota que en un

ambiente adecuado la vegetación no necesita del hombre para crecer en taludes de difícil acceso.

Las especies recomendadas y las observadas tienen características muy similares como por la copa y su sistema extenso de raíces que pueden profundizar bastante. Las observaciones de la vegetación que se adapta de manera natural a pendientes fuertes coinciden en cierta manera con las especies con características necesarias según la teoría del capítulo 2. Es de suponer que no todas las especies que crezcan en taludes crucen la superficie de falla por medio de su sistema radical, pero pueden proporcionar un panorama mejor del cómo hacen para subsistir en estas condiciones.

La disposición de las especies en los diferentes taludes, en zonas como el Cerro de la Muerte y la región de los Cartagos en Heredia, presentan una gran cantidad de invasión por parte de una especie arbustiva denominada jaúl. Esta especie a pesar de no encontrarse en los taludes de los proyectos ICE tiene un gran potencial ya que podría estabilizar las laderas. En el cuadro siguiente las especies no tenían características tan invasoras como las del jaúl, sin embargo podrían ayudar en gran medida si las configuraciones que se realizan en un talud son las adecuadas.

Cuadro 5.2 Algunas especies potenciales para la estabilización de taludes.

Proyecto ICE	Taludes visitados	Provincia	Cantón	Distrito	Zonas de vida	Especies vegetales en los taludes
RH Toro Amarillo	Toro II	Alajuela	Valverde Vega	Toro Amarillo	bp-P, bp-MB, bp-M, bmh-MB	Platanilla, cornizuelo, Guarumo, Guabas, Moquito, Targua, Begonias, Balsa , Capulín de comer , Caña brava, palma sombrero, Targua, Pasto dulce, Rabo de ratón, Guayaba , Helechos arborescentes, Chumicos, pasto dulce, pasto san agustín, lengua de vaca, cenízaro
	Talud camino a casa de máquinas					
	Toro III					
	Talud en tubería de Alta Presión					
	Talud con deslizamiento rotacional					
	Talud en Toma La Flor					
Talud con enrocado en la base						
PH ArCoSa	Talud en CP Arenal	Guanacaste	Tilarán	Tilarán	bmh-P, bh-P, bh-T	Indio desnudo, Guanacaste , Cenízaro, roble sabana , Madero negro , Vainillo, Madroño, Guácimo, Capulín de comer , Poro Poro, Balsa , Jobo , Coyol , Corteza Amarilla , Flor de Itabo, Lagartillo, Guayabo , Higuierón colorado.
	Talud en Tubería de Baja Presión CP Miguel Dengo		Cañas	Cañas	bh-P, bs-T, bh-P	
PT Garabito	Talud en la planta	Puntarenas	Montes de Oro	San Isidro.	bmh-P, bh-T, bmh-MB, bp-MB, bp-P	Braquiarias, Balsa , Guarumo, Guachipelfín, Almendro de montaña, Cenízaro.
ST Palmar Norte	Taludes alrededor de la subestación	Puntarenas	Osa	Palmar	bmh-P, bh-T, bmh-T	pasto jengibrillo, arete panameño, caña india, bambú

Nota: las especies resaltadas en negrita se encuentran en el cuadro 6.1 y crecieron por regeneración natural en los taludes

Capítulo 6

Guía práctica para la estabilización de taludes en los suelos de Costa Rica utilizando vegetación nativa

Esta guía pretende establecer una forma de seleccionar las especies vegetales acorde a la zona de vida donde se desenvuelva el proyecto; así como las pautas necesarias para la correcta estabilización de los taludes utilizando bioingeniería de suelos.

Es un proceso práctico para escoger las especies que más convengan acorde con las condiciones edafológicas generales para cada especie; así como otros parámetros necesarios para el buen desarrollo de las especies vegetales y que al mismo tiempo sirvan como anclajes y controladores de la erosión.

Para el uso adecuado de esta guía se recomienda seguir el diagrama de la figura 6.1. Se describe el proceso en el cual, si el talud es estable, es necesario el uso de la propuesta.

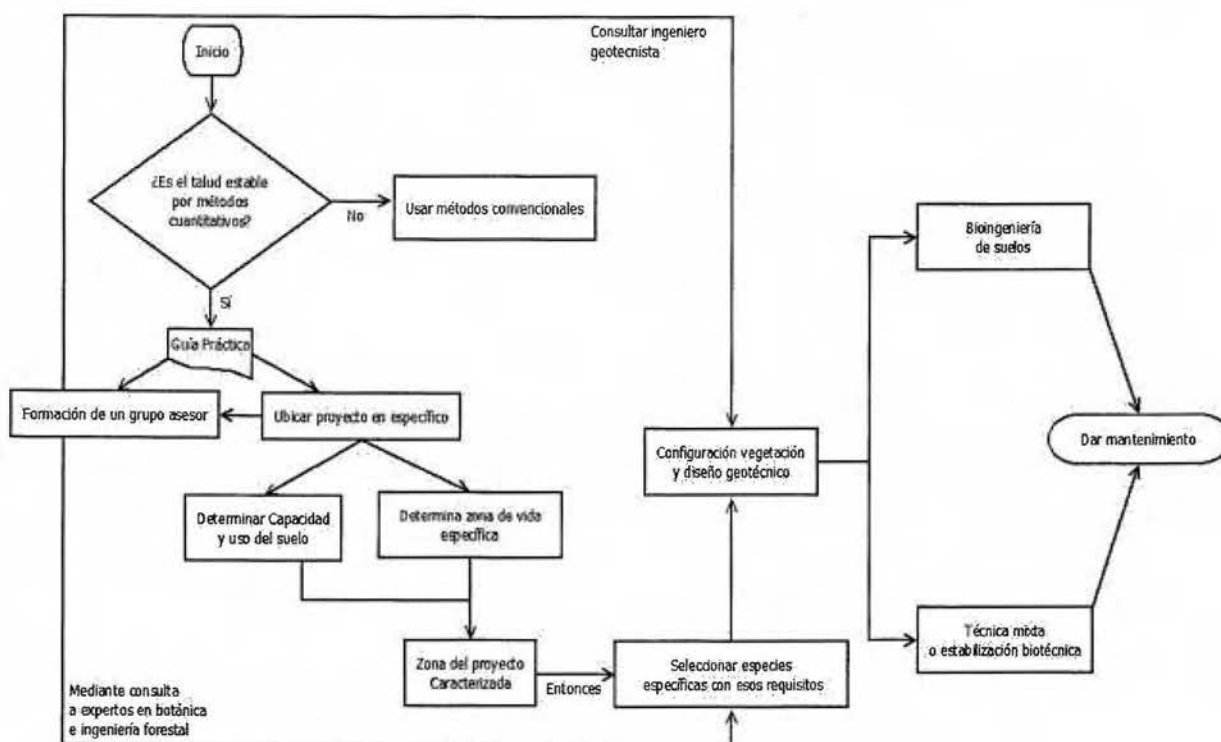


Figura 6.1 Esquema del uso de la guía práctica

6.1 Creación de un grupo de asesores.

Para que un talud funcione para el propósito buscado en esta investigación es necesario consultar con expertos de diversas áreas, por ejemplo con la ayuda de botánicos se pueden identificar las especies vegetales en la zona del proyecto para generar el menor impacto posible. Por otra parte un profesional en ingeniería forestal podría ser de gran ayuda por el conocimiento que tiene en el comportamiento de las especies forestales, al igual que un profesional en edafología que sirva para determinar en caso de ser necesario los estudios de suelos, de los taludes, ya que para cada especie las proporciones de los requerimientos nutricionales son distintos.

Usualmente los taludes desnudos tienen malas condiciones para las especies, no obstante existen especies que se desenvuelven bien en suelos muy malos o carentes de nutrientes. Un profesional en ingeniería civil, preferiblemente geotecnista que puede brindar su conocimiento una vez conocidos los datos de resistencia a la tracción de las raíces de las especies forestales para estabilizar un talud en particular, por medio de la bioingeniería de suelos. Conociendo esta información, puede ayudar en el diseño de la conformación de la vegetación de porte alto en el talud.

La escogencia de este equipo es importante pues involucra el criterio en la selección de las especies, el cuidado que estas tienen que tener en cuanto a riego, tipo de suelos, resistencia a la sequía, tolerancia a inundaciones, entre otras características que los profesionales en botánica conocen bien. El buen desenvolvimiento de las especies depende de botánicos e ingenieros forestales mientras que el mantenimiento en los taludes como en el manejo de aguas de escorrentía superficial y el diseño, está más relacionado a la ingeniería.

6.2 Selección de especies

En el cuadro 6.6 se dan recomendaciones de las especies a utilizar, no obstante se podría hacer una evaluación de las mismas en una zona determinada para escoger las mejores. Algunos de los criterios para la evaluación son:

- ✓ Follaje grande y fuerte
- ✓ Propagación sencilla y rápida
- ✓ Sistema radicular profundo
- ✓ Rápido crecimiento
- ✓ Resistencia contra la sedimentación.
- ✓ Preferiblemente especies autóctonas
- ✓ Especies rusticas (pioneras, invasoras), poco exigentes a la calidad de sitio
- ✓ Que requieran mínimas labores de mantenimiento, como riego, aplicación de fertilizantes, limpieza, podas. etc.
- ✓ Resistencia a las plagas y enfermedades
- ✓ Resistencia al fuego y recuperación rápida después de los incendios
- ✓ Que sean poco palatable (apetecidas por el ganado)
- ✓ En algunos casos de acuerdo a las circunstancias, que ofrezcan alguna utilidad a la comunidades.

6.3 Ubicación del proyecto

La ubicación del proyecto es necesaria para la escogencia de las especies vegetales a utilizar. La localización tanto por latitud, longitud y la altitud son parámetros que crean variaciones en el clima y a su vez en las especies de flora.

6.3.1 Capacidad y uso del suelo

En los mapas del capítulo 6 se distinguen las categorizaciones de uso de suelo que sirven para determinar cuáles regiones tienen más aptitudes para algunas u otras especies debido a los requerimientos que estas exigen en cuanto a nutrientes y condiciones del suelo. Con ello, se puede tener una idea general de cómo es el suelo en el proyecto a realizar para una mejor selección de las especies vegetales.

6.3.2 Determinación de la zona de vida

Al localizar el proyecto en un espacio geográfico se puede conocer a que zona de vida pertenece. Las zonas de vida como se explica en el capítulo tres varían de acuerdo con el rango altitudinal y otras características como la temperatura, precipitación etc.

En Costa Rica la biodiversidad es muy grande, y por ser un país pequeño al avanzar una distancia corta se puede cambiar a otra zona de vida. La determinación de la zona de vida específica para el proyecto puede ser muy útil para el buen desarrollo de las especies a utilizar y por ello tener éxito en la estabilización del talud.

En el cuadro 6.5 se detallan las diferentes zonas de vida que se dan en los diferentes distritos de Costa Rica. Con esto se puede localizar en el proyecto (mediante la ayuda de un altímetro) la zona de vida de acuerdo con la información para cada distrito y con los rangos altitudinales para las diferentes zonas de vida del cuadro 3.1 del capítulo 3. Además en los mapas de las figuras 6.4 a 6.11 se exponen de manera gráfica las distribuciones de las zonas ecológicas en todos los cantones del país.

6.3.3 Especies recomendadas para la estabilidad de taludes de acuerdo con el tipo de zona de vida

Cuando el proyecto esté ubicado por zona de vida, se recurre al cuadro 6.6, donde vienen los cuadros que despliegan las especies vegetales para cada zona de vida de Costa Rica. Algunas de las zonas de vida contienen especies para el control de erosión, aunque en su gran mayoría son especies de porte más alto para el anclaje y la estabilidad de la masa de suelo.

En las fichas técnicas de los cuadros 6.2, 6.3 y 6.4 se describen las características de las especies seleccionadas en cuanto a su adaptabilidad a agentes externos y de igual manera se describen a cuales zonas de vida son más adaptables.

Para una descripción gráfica de la distribución geográfica de las especies seleccionadas se pueden consultar los mapas de las figuras 6.11 a 6.14, donde se detallan los puntos geográficos de recolecta del INBio mediante mapas.

6.3.4 Disponibilidad de las especies vegetales

Cuando se haya ubicado el proyecto y escogido las especies del cuadro 6.1, es necesario conocer si existen las especies en el mercado. Mediante la consulta a viveros cercanos a la zona del proyecto se accede a las especies necesarias para el talud. De no existir viveros que contengan las especies se puede crear un vivero propio, para ello es muy útil conocer la forma de propagación de las distintas especies a utilizar ya sea por reproducción sexual o asexual. Es muy importante la consulta a personas que sepan identificar especies forestales en el campo para obtener los ejemplares que se quieran reproducir.

En el cuadro 6.1 se expone por cuales métodos se pueden reproducir cada una de las especies recomendadas.

6.4 Diseño geotécnico y conformación de la vegetación en el talud

El buen desempeño de la estabilidad por medio de la vegetación depende en gran medida de un buen diseño geotécnico. A su vez éste debe ir acompañado de un correcto manejo de la escorrentía superficial.

Es importante que las especies arbustivas se desenvuelvan bien en el talud, según las observaciones en campo realizadas, es aconsejable plantar las especies de porte más alto como árboles y arbustos en las bermas del talud. En caso de no tener bermas, se pueden realizar excavaciones en forma de cuña (se realiza excavando la cara del talud de tal forma que el terreno quede en forma de triangulo recto) en las cuales la especie se plante en un terreno plano. Además las especies de porte más bajo como las hierbas y pastos pueden ser plantadas en la cara del talud, mientras que en el pie del talud las especies arbustivas grandes deben ir acompañadas de especies para control de erosión, pues el agua puede generar surcos alrededor de los troncos de no tomar esta prevención.

Debe ser conocido que las especies vegetales recurren al heliotropismo y al geotropismo. En el heliotropismo la especie tiende a buscar la luz por cualquier recurso, ya sea retorciéndose o realizando cualquier maniobra para encontrarla. Por este motivo se recomienda plantar la especie en un terreno plano, ya que tanto su sistema radicular como su tronco van a crecer de manera más regular. En cuanto al geotropismo, las raíces de la especie buscan la dirección de la fuerza de la gravedad dentro de la tierra, por tanto su sistema radical puede

atravesar de manera más eficiente la superficie de rotura al ser sembradas en la berma o en la cuña. Si se siembra sin realizar esta cuña, es decir en hoyos perpendiculares a la cara del talud se puede desaprovechar la energía, pues la especie debe acomodarse a ambos fenómenos (heliotropismo y geotropismo). Además la distribución de esfuerzos en la madera varía lo que puede ocasionar que la especie se desestabilice en sus primeras etapas de crecimiento.

Las especies arbustivas que crecen muy rápido, por lo general no duran mucho tiempo, lo cual se denomina una especie efímera. Si se va a sembrar en el talud, hay que aprovechar especies que sean efímeras para que estabilicen el talud rápidamente. No obstante, es importante también sembrar especies que duren más tiempo, lo que involucra que al morir la especie efímera, la más longeva ya esté establecida. Por esto la longeva sigue con su función de anclaje al talud. Como recomendación se podrían utilizar especies de densidades parecidas en la zona donde quede establecida la que sustituya a la especie efímera para que no se generen problemas de inestabilidad.

En la figura 6.2 se puede observar como el diseño de sembrar especies más pesadas en el pie del talud y más livianas a medida que se sube hacia la corona da tanto una solución ambiental, ingenieril y de paisajismo.

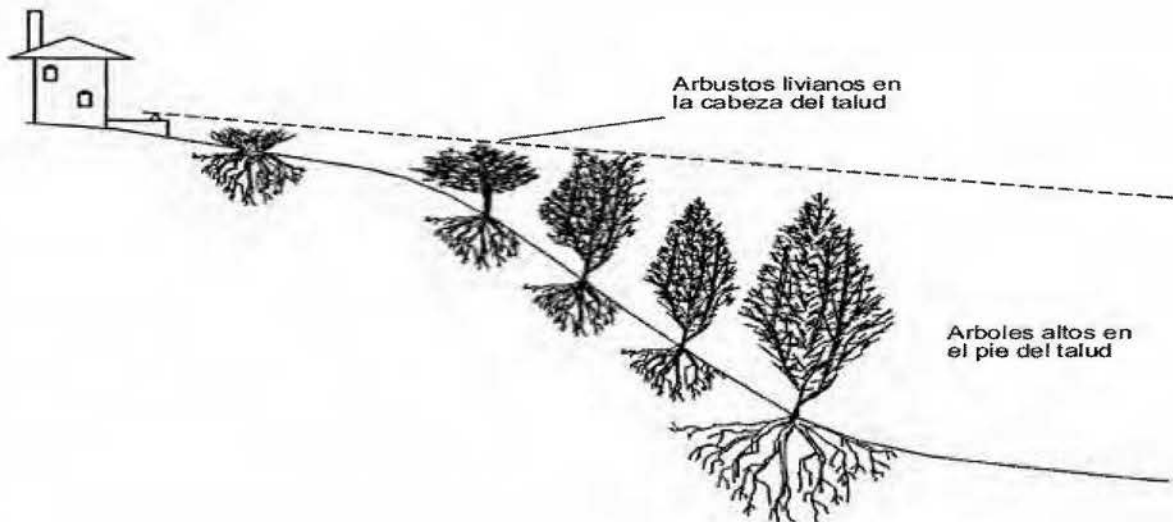


Figura 6.2 Elementos de arquitectura y paisajismo en el diseño de la revegetación

Fuente: Suárez, 1998

Un aspecto que es válido de mencionar es que en el apartado 4.3.3 se mencionan algunas distancias recomendadas para dar estabilidad a los taludes, sin embargo si se conocen los datos de la resistencia del anclaje de las especies arbustivas estas quedan sujetas a criterio del diseñador.

6.4.1 Escogencia de la biotécnica ó la bioingeniería de suelos a utilizar en el proyecto

Existen taludes que por su pendiente y sus condiciones en cuanto a tipo de suelo, clima, precipitación etc, es difícil estabilizarlos únicamente por medio de la bioingeniería de suelos (resistencia mecánica de las raíces), por ello es necesario complementarlo con alguna estructura inerte como muros de gaviones, muros de roca, muros de contención etc.

La escogencia entre una u otra técnica depende de la urgencia para estabilizar el talud. Si el talud es de emergencia es preferible recurrir ya sea a la biotecnología o a las técnicas usuales de la geotecnia, pero si lo que se quiere dar es un tratamiento preventivo se puede utilizar la bioingeniería de suelos.

En el apartado 4.3 del capítulo 4, se exponen las condiciones necesarias para implementar una u otra técnica de ser necesario, dependiendo de si se necesita para control de erosión, para reparar una cárcava, para tratamiento preventivo en el talud de suelo o ya sea mediante el uso de estructuras inertes como muros de roca entre otros.

Las especies a utilizar que son recomendadas en el cuadro 6.1 sirven para la bioingeniería de suelos ya que logran estabilizar el suelo mediante sus raíces. Sin embargo para el uso de la biotecnología no todas las descritas funcionan. Hay que tener criterio para observar que evidentemente en un muro de rocas no se pueden utilizar especies que no se desarrollen bien bajo esas condiciones.

6.4.2 Determinación del método de implantación de las especies vegetales

Las condiciones del talud determinan el método de siembra que se quiere utilizar. En taludes de pendientes bajas y de fácil acceso se pueden utilizar técnicas manuales. En taludes en condiciones adversas como una pendiente muy fuerte y de difícil acceso es mejor utilizar la hidrosiembra.

Otro de los factores que se deben de tomar en cuenta es la precipitación de la zona, debido a que la erosión por escorrentía puede lavar las semillas. Para evitar esto se utilizan biomantas para el control de erosión. El viento es un fenómeno que también afecta pero se puede controlar de la misma manera. A medida que la especie se va desarrollando, la utilización de protección contra viento puede ser de gran ayuda como se expone en el apartado 4.4.2

El uso de siembra o plantación por esquejes es mejor consultarlo con expertos forestales, esto porque cada especie se desarrolla mejor en alguna de las dos. Evidentemente la bioingeniería de suelos y la biotécnica determinan si se puede utilizar o no la reproducción sexual o asexual. Sin embargo no todas las especies desarrollan de la misma manera sus sistemas radicales por las dos vías.

6.5 Mantenimiento

Algunos de los cuidados posteriores a la implantación de las especies son primordiales para un funcionamiento correcto de la "estructura" que servirá tanto para estabilización como para control de erosión. Los cuidados a tomar son los siguientes:

✓ **Fertilización**

La fertilización se define como las técnicas que se emplean para nutrir tanto a la planta como al suelo que la sustenta, para mantener y fomentar la fertilidad de este conjunto.

- Mediante aportes de materia orgánica, como estiércol o compost para proporcionar nutrientes y mejorar la estructura del suelo.
- Con abonos verdes, es decir, cultivos dedicados a ser enterrados como abono.
- Mediante aportes minerales que proceden del propio entorno, como es el polvo de rocas molidas.
- Con preparados vegetales a partir de maceraciones de plantas o extractos de algas.
- Con organismos vivos, como bacterias de raíces de otras plantas, que proporcionan nutrientes y fomentan la descomposición de la materia orgánica.

✓ **Riego**

El riego consiste en aportar agua al suelo para que los vegetales tengan el suministro que necesitan favoreciendo así su crecimiento.

En la técnica de la hidrosiembra hay que tener cuidado porque mucho exceso de agua puede lavar el gel desligando las semillas del suelo.

✓ **Resiembra**

Por mala germinación en ciertas zonas es recomendable volver a sembrar en ellas. Usualmente en los bordes de los taludes es donde se produce más mortalidad de las especies debido al agua que escurre por el talud. Lo aconsejable es fijarse 6 meses después de la primera implantación según expertos forestales.

✓ **Reposición de especies**

Reponer especies muertas después de los primeros 6 meses de arboles o arbustivos, si existen plagas o que genera la mortandad para evitar más muertes.

✓ **Eliminación de las malas hierbas**

Existen especies herbáceas que elevan los índices de mortalidad cuando no son controladas. Las inspecciones al campo deben de realizarse para que las especies cuyo propósito sean el de estabilización no sean eliminadas por la mala hierba.

Cuadro 6.1. Especies vegetales que cumplen con características para la estabilización de taludes.

Nombre	Tipo	PEB (g/cm ³)	Tipo de raíz	Cobertura	Altura(m)	Suelos	Propagación
Aromo (<i>Acacia farnesiana</i>)	Arbusto	ND	Las raíces crecen de manera vertical y toman el agua del subsuelo.	Tiene una cobertura regular.	1 a 2	Prospera bien en suelos secos, salinos.	Semillas reniformes, de 6 a 8 mm de largo.
Coyol (<i>Acrocomia aculeata</i>)	Árbol	ND	Raíz pivotante y raíces secundarias que se pueden extender hasta los 4m.	La cobertura es bastante mala.	13 y 20	Se adapta bien a suelos muy diversos, incluso a los arenosos.	La germinación es lenta.
Carboncillo (<i>Albizia carbonaria</i>)	Árbol	ND	Raíz fasciculada(lateral y vertical) se extiende de 3 a 4m.	Tiene una cobertura regular.	hasta 30	ND	Se propaga por <i>semillas</i> .
Espavel (<i>Anacardium excelsum</i>)	Árbol	0,38	Raíz pivotante profunda y raíces extensas.	Tiene una cobertura buena.	13 a 50	Es común en áreas de suelos profundos de origen aluvial, bien sean de sabanas o de selva. Sin embargo se adapta bien a diversidad de suelos.	Sembrar directamente en bolsas o en el campo, usando una a dos <i>semillas</i> por hoyo y repicar si nacen ambas.
Marañón (<i>Anacardium occidentale</i>)	Árbol	0,5	Raíz pivotante profunda.	Tiene excelente cobertura.	1.5 a 10	Suelos arenosos profundos pero puede desarrollarse en suelos rocosos de baja fertilidad, inadecuados para otros árboles frutales.	Se propaga por <i>semillas</i> que germinan entre los 14 y 21 días, y también mediante <i>injertos</i> , especialmente para las variedades comerciales.
Anona (<i>Annona cherimola</i>)	Árbol	ND	Raíces pivotantes que penetran profundamente en suelos favorables.	Tiene una cobertura regular.	5 a 8	El pH del suelo más adecuado, de acuerdo a la literatura, sería el comprendido entre 6,0 y 7,5.	Se lleva a cabo mediante injerto sobre patrón de semilla procedente del mismo cultivar que se va a utilizar como variedad.
Guanabana (<i>Annona muricata</i>)	Árbol	0,4	Raíz pivotante profunda.	Tiene una cobertura regular.	3 a 8	Suelos con buen drenaje. Arenoso, limoso, arcilloso, arenisca. Se desarrolla en un pH ligeramente ácido de 5.5 a 6.5.	La reproducción es asexual puede ser de tres tipos: 1. Cortes de raíz y cortes de tallo. 2. Rizoma. 3. Injerto e injerto de yema.
Fruta de Pan (<i>Artocarpus altilis</i>)	Árbol	0,27 a 0,45	Conjunto fasciculado con raíz pivotante. El sistema puede penetrar de 0,5 a 1,5 m.	Tiene una cobertura buena.	hasta 26	Crece mejor bajo las condiciones tropicales húmedas, adaptada a los suelos profundos y bien drenados.	Se propaga de manera vegetativa mediante el uso de vástagos radicales, acodos o estacas radicales.

PEB: Peso Específico Básico de la madera

ND: No Disponible

NA: No Aplica

*Especie para control de erosión

Cuadro 6.1. Especies vegetales que cumplen con características para la estabilización de taludes (cont.)

Nombre	Tipo	PEB (g/cm ³)	Tipo de raíz	Cobertura	Altura(m)	Suelos	Propagación
Jack-Fruit (<i>Artocarpus heterophyllus</i>)	Árbol	ND	Sistema radical profundo, más de un metro con raíz pivotante y extendida.	Tiene una cobertura regular.	9 a 12	Los árboles prosperan en suelos con buen drenaje como los arenosos, franco arenosos o en los rocosos.	Puede propagarse mediante semillas, injertos y estacas.
Achiote (<i>Bixa orellana</i>)	Arbusto	0,4	Raíz fasciculada (lateral y vertical), se extiende de 3 a 4m.	Tiene una cobertura regular.	2 a 4	Suelos aluviales, bien drenados y con altos contenidos de materia orgánica.	Reproducción asexual. 1.Estacas o esquejes. 2.Acodos. 3: Injertos.
Pochote (<i>Bombacopsis quinata</i>)	Árbol	0,43	Sistema radical de 2.5m de profundidad, con raíz pivotante.	Tiene una cobertura regular.	15 a 20	Se desarrolla bien en suelos poco compactados, con buen drenaje, con alto contenido de arena y pH neutro a ácidos.	Reproducción por semillas
*Piñuela (<i>Bromelia pinguin</i>)	Hierba	NA	Raíces que pueden amarrar el suelo superficial.	Tiene una cobertura regular.	1 a 1,5	ND	Semillas y esquejes (sexual y asexual)
Nancite (<i>Byrsonima crassifolia</i>)	Árbol	0,59	Sistema radical profundo, con raíces extendidas.	Tiene una cobertura regular.	3 a 7	Es demandante de: 1.Suelos con buen drenaje. 2. Suelos profundos. 3. Suelos ricos en materia orgánica.	Reproducción asexual. 1. Estacas. 2.Acodos aéreos. 3.Injertos. Reproducción sexual. 1. Semilla (plántulas).
Aripin (<i>Caesalpinia velutina</i>)	Arbusto	0,75	Raíz pivotante profunda y raíces secundarias laterales.	Tiene una cobertura buena.	3	Es capaz de establecerse en suelos degradados, por lo que en Guatemala se usa para la estabilización de pendientes.	Es mejor sembrar directamente en bolsas, dos semillas en cada a 2 cm de profundidad.
Gandul (<i>Cajanus cajan</i>)	Arbusto	ND	Raíces que pueden llegar a medir hasta 3 m de profundidad.	Tiene una cobertura regular.	3 a 5	Se adapta a todo tipo de suelos, de preferencia con pH de 5.0 a 8.0. y a suelos bien drenados.	Se propaga por semillas.
*Bijagua blanca (<i>Calathea lutea</i>)	Hierba	NA	Raíces superficiales.	Tiene una cobertura buena.	2 a 5	ND	ND

PEB: Peso Específico Básico de la madera

ND: No Disponible

NA: No Aplica

*Especie para control de erosión

Cuadro 6.1. Especies vegetales que cumplen con características para la estabilización de taludes (cont.)

Nombre	Tipo	PEB (g/cm ³)	Tipo de raíz	Cobertura	Altura(m)	Suelos	Propagación
Calistemon (<i>Callistemon viminalis</i>)	Arbusto	ND	Raíz fasciculada (lateral y vertical), se extiende de 3 a 4m.	Tiene una cobertura buena.	2	Se adapta a suelos con pH Ácido - pH Neutro - Suelos bien drenados - Suelo fértil - Suelo Húmedo	Propagación por semillas y también mediante esquejes.
Ilán-Ilán (<i>Cananga odorata</i>)	Árbol	ND	Raíz fasciculada (lateral y vertical), se extiende de 3 a 4m.	Tiene una cobertura buena.	5 a 12	Suelos con buen drenaje ; se desarrolla mejor en suelos alcalinos	Se propaga fácilmente a partir de semillas, pero también se puede propagar a través de cortes y replantaciones de sus ramas.
Papaya (<i>Carica papaya</i>)	Árbol	ND	Sistema radical pivotante profundo.	Tiene una cobertura mala.	2 a 8	Desarrolla en diferentes clases de suelo siempre que sean fértiles, blandos, profundos y permeables.	Reproducción asexual. 1. Cultivo de tejidos. 2. Estacas o esquejes. . 3. Injertos de yema.
Carao Amarillo (<i>Cassia moschata</i>)	Árbol	0,59	Posee un sistema radical profundo.	Tiene una cobertura mala.	20	ND	La propagación de la especie se realiza a partir de material vegetativo. 1. Cortes de tallo.
Cedro Amargo (<i>Cedrela odorata</i>)	Árbol	0,43	Raíz pivotante profunda.	Tiene una cobertura buena.	20 a 45	Suelos de origen volcánico o calizo, con buen drenaje y que sean porosos en toda su profundidad.	2. Brotes o retoños. 3. Semilla (plántulas). 4. Siembra directa. 5. Regeneración natural.
Cedro Bateo (<i>Cedrela salvadorensis</i>)	Árbol	ND	Raíz pivotante profunda.	Tiene una cobertura buena.	Hasta 25	Crece en suelos pedregosos y calcáreos.	Se propaga por semillas.
*Gallinita (<i>Centrosema plumieri</i>)	Trepadora	NA	Raíces superficiales.	Con excelente cobertura.	1 a 3 con soporte para subir	Se adapta a un rango amplio de suelos, desde arenoso-franco a arcillo-limoso, además tolera suelos con baja fertilidad.	Se encuentra en estudio.
*Centrosema (<i>Centrosema pubescens</i>)	Rastrera	NA	Raíces que amarran bien el suelo superficial.	Tiene una cobertura regular.	0,2 a 0,45	Se adapta a suelos con baja a mediana fertilidad, con pH de 4.5 - 7.0.	ND

PEB: Peso Específico Básico de la madera

ND: No Disponible

NA: No Aplica

*Especie para control de erosión

Cuadro 6.1. Especies vegetales que cumplen con características para la estabilización de taludes (cont.)

Nombre	Tipo	PEB (g/cm ³)	Tipo de raíz	Cobertura	Altura(m)	Suelos	Propagación
Tabacón (<i>Cespedesia macrophylla</i>)	Árbol	ND	Raíz fasciculada (lateral y vertical), se extiende de 3 a 4m.	Tiene una cobertura regular.	hasta 20	ND	ND
Caimito (<i>Chrysophyllum cainito</i>)	Árbol	0,74	Raíz fasciculada (lateral y vertical), se extiende de 3 a 4m.	Tiene una cobertura buena.	20	No requiere un suelo específico, crece bien en suelos ricos y profundos, además con buen drenaje y con pH entre 4,5 - 7,5.	Los caimitos se reproducen más por semillas
*Bejuco (<i>Cissus biflorifolia</i>)	Trepadora	NA	Raíces superficiales.	Con excelente cobertura.	1 a 7 con soporte para subir	Necesita de suelos bien drenados.	Propagación por esquejes.
Ojoche Colorado (<i>Clarisia racemosa</i>)	Árbol	0,46	Raíces profundas de hasta más de 2 m de profundidad.	Tiene una cobertura buena.	más de 15	ND	ND
Laurel (<i>Cordia alliodora</i>)	Árbol	0,47 a 0,57	Profundo y extenso, a veces con una raíz central profunda.	Tiene una cobertura mala.	7 a 40	Necesita un suelo muy bien drenado, está presente tanto en arenas profundas e infértiles como en terrenos montañosos fértiles.	Tiene más facilidad de propagarse por semillas sin embargo también se da la reproducción asexual.
Jicarito (<i>Crescentia alata</i>)	Árbol	ND	Sistema radical profundo.	Tiene una cobertura buena.	4 a 8	Prospera en áreas abiertas tipo sabana, se encuentran en suelos pedregosos.	Reproducción asexual. 1. Estacas o esquejes. Reproducción sexual. 1. Semilla (plántulas). 2. Regeneración natural.
Jícaro (<i>Crescentia cujete</i>)	Árbol	ND	Sistema radical profundo.	Tiene una cobertura buena.	6 a 12	Crece en suelos pesados y mal drenados, típicos de las sabanas, pero se desarrolla mejor en suelos con buen drenaje y profundos.	Se propaga por medio de semillas.
*Pasto Bermuda (<i>Cynodon dactylon</i>)	Pasto	NA	Raíces superficiales.	Densa cobertura de vegetación.	hasta 0,4	Sus características de planta rizomatosa y agresiva le permiten colonizar todo tipo de suelos, incluso los más pobres.	Por estolones, rizomas y semilla.

PEB: Peso Específico Básico de la madera

ND: No Disponible

NA: No Aplica

*Especie para control de erosión

Cuadro 6.1. Especies vegetales que cumplen con características para la estabilización de taludes (cont.)

Nombre	Tipo	PEB (g/cm ³)	Tipo de raíz	Cobertura	Altura(m)	Suelos	Propagación
Guaitil, Jagua (<i>Genipa americana</i>)	Árbol	0,66 a 0,85	Raíz pivotante profunda.	Tiene una cobertura mala.	15	Se desarrollan bien en suelos bien drenados, aluviales y que sean profundos.	Reproducción asexual. 1. Injerto de yema. Reproducción sexual. 1. Semilla (plántulas). 2. Siembra directa.
Madero Negro (<i>Gliricidia sepium</i>)	Árbol	0,67	Esta especie ya se ha utilizado para la estabilidad de taludes.	Tiene una cobertura buena.	2 a 15	Crece en suelos derivados de material calcáreo, ígneo o volcánico. Se adapta tanto a suelos húmedos como a secos.	La siembra directa en el campo es el método más fácil y barato para establecer Gliricidia.
Melina (<i>Gmelina arborea</i>)	Árbol	0,34	Esta especie ya se ha utilizado para la estabilidad de taludes.	Tiene una cobertura buena.	hasta 30	Se adapta en suelos calcáreos y moderadamente compactados.	Se reproduce por semillas y por estacas.
Gravilia (<i>Grevillea robusta</i>)	Árbol	ND	Su sistema radical profundo se adapta a una gran variedad de climas.	Tiene una cobertura regular.	18 a 35	Se desarrollan mejor en suelos bien drenados y de pH neutro.	Propagación por injertos.
Guayacán real (<i>Guaiacum sanctum</i>)	Árbol	ND	Sistema radical profundo.	Tiene una cobertura buena.	hasta 20	ND	Propagación por estacas.
Guácimo (<i>Guazuma ulmifolia</i>)	Árbol	0,45 a 0,6	Raíz pivotante profunda.	Tiene una cobertura buena.	2 a 15	Se adapta tanto a condiciones secas como húmedas y a un amplio rango de suelos, con pH mayor a 5.5.	Brotos o retoños, buena capacidad de rebrote lo cual la hace ideal para ser manejada en los potreros de las zonas secas.
*Sombrilla de Pobre (<i>Gunnera insignis</i>)	Hierba	ND	Raíces superficiales.	Hoja ancha que permite una buena transpiración	1 a 2,5	Necesita de suelos húmedos y profundos.	ND
Hule (<i>Hevea brasiliensis</i>)	Árbol	ND	Raíz pivotante profunda.	Tiene una cobertura buena.	20 a 30	Se adapta bien a suelos arcillosos con pH de ácido a neutro. Requiere de buen drenaje y suelos profundos	Por semillas o estacas.

PEB: Peso Específico Básico de la madera

ND: No Disponible

NA: No Aplica

*Especie para control de erosión

Cuadro 6.1. Especies vegetales que cumplen con características para la estabilización de taludes (cont.)

Nombre	Tipo	PEB (g/cm ³)	Tipo de raíz	Cobertura	Altura(m)	Suelos	Propagación
*Junco de Agua (<i>Cyperus ligularis</i>)	Hierba	NA	Raíces superficiales.	Tiene una cobertura buena.	0,3 a 0,4	ND	ND
*Trebolillo (<i>Desmodium triflorum</i>)	Rastrera	NA	Raíces superficiales.	Densa cobertura de vegetación.	0,1 a 0,2	Encontrado en un amplio rango de suelos, incluyendo en suelos muy pobres.	ND
Guanacaste (<i>Enterolobium cyclocarpum</i>)	Árbol	0,35	Raíces profundas y fuertes.	Tiene una cobertura buena.	16 a 28	Se adapta bien a suelos de textura arenosa, franco arenosa y arcillosa, prospera con suelos de baja fertilidad natural.	Puede propagarse mediante semillas, injertos y estacas.
Níspero Japonés (<i>Eriobotrya japonica</i>)	Árbol	ND	Puede alcanzar 2,5 m de profundidad en terrenos sueltos.	Tiene una cobertura buena.	5 a 10	Crece en variedad de suelos, sin embargo se desarrolla mejor en suelos drenados y con buena fertilidad.	Se propaga por semillas o por esquejes
Poró Africano (<i>Erythrina abyssinica</i>)	Árbol	ND	Raíz pivotante profunda.	Tiene una cobertura mala.	5 y 15	Es una especie que mejora los suelos, se adaptan fácilmente a distintos tipos de suelos ya que soportan inundaciones.	La vía de propagación más recomendada es por semillas (previa etapa de vivero), ya que las estacas son poco resistentes
Poró Blanco (<i>Erythrina fusca</i>)	Árbol	ND	Raíces profundas con nódulos fijadores de nitrógeno.	Tiene una cobertura regular.	10 a 15	Ubicados en suelos ácidos e infértiles, prosperan en áreas de mal drenaje donde los árboles fijadores de nitrógeno no se desarrollan.	Es más recomendable por semillas sin embargo también se puede usar reproducción asexual o vegetativa.
Eucalipto (<i>Eucalyptus saligna</i>)	Árbol	0,49	Raíz pivotante bastante profunda.	Tiene una cobertura regular.	60	El mejor desarrollo de la especie se presenta en suelos aluviales, bien drenados y de origen volcánico.	Se propaga por medio de semillas.
Fresno Mexicano (<i>Fraxinus uhdei</i>)	Árbol	ND	Desarrolla raíces profundas si el suelo es compacto no las desarrolla.	Tiene una cobertura buena.	hasta 35	Se desarrolla en suelos arcillosos, arenosos, lava basáltica, pero que sean profundos, fértiles y húmedos.	Reproducción asexual. 1. Estacas. Alto potencial para propagarse por estacas. Reproducción sexual. 1. Semilla (plántulas).

PEB: Peso Específico Básico de la madera

ND: No Disponible

NA: No Aplica

*Especie para control de erosión

Cuadro 6.1. Especies vegetales que cumplen con características para la estabilización de taludes (cont.)

Nombre	Tipo	PEB (g/cm ³)	Tipo de raíz	Cobertura	Altura(m)	Suelos	Propagación
Jabillo o Javillo (<i>Hura crepitans</i>)	Árbol	0,34 a 0,41	Las plántulas del molinillo producen una raíz pivotante carmosa.	Tiene una cobertura buena.	30 o más	El mejor desarrollo tiene lugar en margas arenosas y llanos inundables aluviales, crece en llanuras arcillosas con un drenaje pobre.	Las estacas de ramas jóvenes, las cuales se arraigan con facilidad, se insertan en el suelo y se convierten en postes de cerca vivientes.
Guapinol (<i>Hymenaea courbaril</i>)	Árbol	0,7	Tiene un sistema radical profundo.	Proporciona una sombra densa.	hasta 30	Se desarrolla en suelos de origen volcánico y aluvial, con pH de 4.8 a 6.8.	Reproducción asexual. 1. Cortes de tallo. 2. Reproducción sexual. 3. Semilla (plántulas). 3. Siembra directa.
*Pasto Estrella (<i>Hypoxis decumbens</i>)	Hierba	NA	Para control de erosión superficial en taludes pequeños.	Tiene una cobertura buena.	0,3	ND	Por material vegetativo, estolones.
*Coquito (<i>Hyptis capitata</i>)	Hierba	ND	Raíz pivotante, raíz principal gruesa, las secundarias abundantes y finas	Tiene una cobertura regular.	1 a 2	ND	Se propaga por semillas y estolones.
Guaba de Caite (<i>Inga densiflora</i>)	Árbol	ND	Esta especie ya se ha utilizado para la estabilidad de taludes.	n/a	8 a 30	ND	En estudio.
Cuajiniquil Peludo (<i>Inga oerstediana</i>)	Árbol	ND	Raíz profunda, pivotante	Tiene una cobertura buena.	6 a 18	Adaptabilidad a una amplia variedad de suelos incluyendo ácidos	Propagación por medio de semillas
Guaba (<i>Inga skutchii</i>)	Árbol	ND	Tiene un sistema radical profundo.	Tiene una cobertura buena.	4 a 9	Se adapta a variedad de suelos pero se desarrolla mejor en suelos bien drenados.	En estudio.
Jacaranda (<i>Jacaranda mimosifolia</i>)	Arbusto	0,45	Raíz fasciculada (lateral y vertical), se extiende de 3 a 4m.	Tiene una cobertura buena.	8 a 12	Se desarrolla bien en suelos bien drenados, con un pH neutro y con buena fertilidad.	Se propaga fácilmente por semillas.

PEB: Peso Específico Básico de la madera

ND: No Disponible

NA: No Aplica

*Especie para control de erosión

Cuadro 6.1. Especies vegetales que cumplen con características para la estabilización de taludes (cont.)

Nombre	Tipo	PEB (g/cm ³)	Tipo de raíz	Cobertura	Altura(m)	Suelos	Propagación
*Frijol Trepador (<i>Labiab purpureus</i>)	Trepadora	NA	Raíces superficiales	Densa cobertura de vegetación.	ND	Se adapta bien a diferentes suelos y climas, suelos francos a pesados bien drenados, pH de 4.5 a 8.0.	Se propaga fácilmente por semillas.
Leucaena (<i>Leucaena leucocephala</i>)	Arbusto	0,76	Raíz fasciculada (lateral y vertical), se extiende de 3 a 4m.	Tiene una cobertura buena.	3 a 6	Necesita suelos de mediana fertilidad. No tolera sombra ni inundación.	Propagación por semillas.
Liquidámbar (<i>Liquidambar styraciflua</i>)	Árbol	0,48	Sistema radical ampliamente extendido y algo profundo.	Tiene una cobertura buena.	20 a 40	Crece mejor en suelos francos, húmedos, ácidos, arcillosos, y tolera pobre drenaje. Tolera sales moderadamente.	La propagación se hace generalmente por semillas.
*Lobelia, Caragallo (<i>Lobelia laxiflora</i>)	Hierba	NA	Raíces superficiales	Con excelente cobertura	1 a 3	ND	Plántula, estaca, hijos (clones)
Macadamia (<i>Macadamia integrifolia</i>)	Árbol	ND	Raíz profunda pivotante	Tiene una cobertura excelente.	hasta 20	Se adapta a todo tipo de suelos, aunque especialmente los ligeros y bien drenados.	La macadamia es fácil de multiplicar por semillas.
Mora (<i>Maclura tinctoria</i>)	Árbol	0,85	Raíces profundas. bastante	Tiene una cobertura buena.	hasta 30	Prefiere los suelos calizos, aunque también desarrolla en suelos volcánicos.	Propagadas por semillas.
Amapola (<i>Malva viscus arboreus</i>)	Árbol	NA	Raíces profundas. bastante	Tiene una cobertura buena.	1 a 3	Suelos con drenaje de regular a bueno, textura franco y francoarcillosa, requiere fertilidad de moderada a buena.	Se propaga por estacas de 20 a 30 cm de largo, con altos porcentajes de prendimiento y rebrotes vigorosos.
Mamey (<i>Mammea americana</i>)	Árbol	ND	Raíz profunda. pivotante	Tiene una cobertura regular.	20 a 25	El mamey crece de mejor manera sobre suelos ricos y profundos.	Propagación por medio de semillas.

PEB: Peso Específico Básico de la madera

ND: No Disponible

NA: No Aplica

*Especie para control de erosión

Cuadro 6.1. Especies vegetales que cumplen con características para la estabilización de taludes (cont.)

Nombre	Tipo	PEB (g/cm ³)	Tipo de raíz	Cobertura	Altura(m)	Suelos	Propagación
Mango (<i>Mangifera indica</i>)	Árbol	0,52	Raíz pivotante y profunda laterales.	Tiene una cobertura buena.	hasta 30	El mango prefiere suelos arcillosos aluviales con buen drenaje y arcillas arenosas.	Semillas (plántulas)
Zapote, Sapadilla (<i>Manilkara zapota</i>)	Árbol	ND	Es extendida y profundiza a más de 6 m.	Tiene una cobertura buena.	25 a 30	Se presenta igualmente en suelos de origen calizo, ígneo o metamórfico, siempre que tengan buen drenaje.	Reproducción asexual. 1. Acodo aéreo. 2. Brotes o retoños. Los esquejes de las ramas maduras florecen en pocos años. 3. Cortes de raíz.
Corcho Australiano (<i>Melaleuca quinquenervia</i>)	Árbol	ND	Raíz fasciculada, se extiende de 3 a 4m. Las raíces buscan el nivel de aguas subterráneas.	Tiene una cobertura regular.	25	Los suelos son deficientes en nutrientes e inundados, es decir es una especie que se puede desarrollar en suelos malos.	Se propaga por semillas
Mamón (<i>Melicococcus bijugatus</i>)	Árbol	ND	Raíz pivotante larga y sistema extendido. Cuando llegan a viejos se extienden lateralmente.	Tiene una cobertura excelente.	hasta 20	Crece en una amplia variedad de suelos, pero prefiere suelos profundos, fértiles, de origen calcáreo.	Se propaga por semillas
*Mano de Tigre (<i>Monstera deliciosa</i>)	Trepadora	NA	Raíces superficiales.	Tiene una cobertura buena.	ND	Suelo rico en humus muy descompuesto y poroso.	La reproducción por semillas para la obtención de plantas madre sólo puede llevarse a cabo en climas tropicales.
Capulín de Comer (<i>Muntingia calabura</i>)	Árbol	ND	Raíces superficiales a verticales.	Tiene una cobertura regular.	10 a 12	Crece en variedad de suelos, tolera suelos pobres pero los prefiere profundos, de textura franco arcillosa, franco arenosa o arenosa.	Se propaga por semillas.
Arco o Palo de Arco (<i>Myrospermum frutescens</i>)	Arbusto	ND	Raíz profunda vertical.	Tiene una cobertura regular.	2 a 3	ND	Este árbol se propaga por semilla.
Balsa o Balso (<i>Ochroma pyramidale</i>)	Árbol	0,13	A los 7 años, los árboles desarrollan una raíz pivotante. Es una especie efímera.	Tiene una cobertura regular.	15 a 30	Buen desarrollo en suelos de origen aluvial, arenosos a moderadamente arcillosos producto de la meteorización de las rocas.	Propagación por semillas.

PEB: Peso Específico Básico de la madera

ND: No Disponible

NA: No Aplica

*Especie para control de erosión

Cuadro 6.1. Especies vegetales que cumplen con características para la estabilización de taludes (cont.)

Nombre	Tipo	PEB (g/cm ³)	Tipo de raíz	Cobertura	Altura(m)	Suelos	Propagación
*Pasto Guinea (<i>Panicum maximum</i>)	Pasto	NA	Raíces superficiales fibrosas, largas y nudosas.	Densa cobertura de vegetación.	3	Fértiles y con buen drenaje. No tolera suelos arcillosos.	Propagación por semillas.
*Zacate Boliviano (<i>Panicum polygonatum</i>)	Pasto	NA	Raíces superficiales	Con excelente cobertura.	0,3 a 0,4	ND	Propagación por semillas.
*Zacate Ilusion (<i>Panicum trichoides</i>)	Pasto	NA	Raíces superficiales	Densa cobertura de vegetación.	0,2 a 0,4	ND	Propagación por semillas.
Palo Verde (<i>Parkinsonia aculeata</i>)	Árbol	ND	Raíz pivotante profunda.	Tiene una cobertura buena.	5 a 12	Crece bien en suelos fértiles y bien drenados de climas cálidos y secos.	Propagación por semillas que deben ser escarificadas antes de su siembra para facilitar su germinación.
*Zacate Amargo (<i>Paspalum conjugatum</i>)	Pasto	NA	Raíces superficiales	Densa cobertura de vegetación.	1	Crece en una gran variedad de suelos, con cierta preferencia hacia los pesados y húmedos. Puede tolerar acidez.	Propagación por semillas.
*Zacate Cabezón (<i>Paspalum paniculatum</i>)	Pasto	NA	Raíces superficiales	Densa cobertura vegetal.	ND	ND	Propagación por semillas y rizoma.
*Pasto Negro (<i>Paspalum plicatulum</i>)	Pasto	NA	Raíces superficiales	Densa cobertura de vegetación.	0,4 a 1	ND	Se propaga por semillas.
*Zacatón (<i>Paspalum virgatum</i>)	Pasto	NA	Raíces superficiales	Denso follaje que cubre mucha área.	0,8 a 2,5	ND	Se propaga por semillas y rizoma.

PEB: Peso Específico Básico de la madera

ND: No Disponible

NA: No Aplica

*Especie para control de erosión

Cuadro 6.1. Especies vegetales que cumplen con características para la estabilización de taludes (cont.)

Nombre	Tipo	PEB (g/cm ³)	Tipo de raíz	Cobertura	Altura(m)	Suelos	Propagación
*Pasto Elefante (<i>Pennisetum purpureum</i>)	Pasto	NA	Raíces fuertes que mejoran la resistencia del suelo.	Densa cobertura de vegetación.	1 a 4,5	Se comporta bien en suelos ácidos a neutros, resiste sequía y humedad alta.	Su propagación se hace principalmente en forma vegetativa.
Aguacate (<i>Persea americana</i>)	Árbol	NA	Con suelos húmedos y de fácil penetración la raíz puede llegar a 6m.	Tiene una cobertura buena.	15 a 30	Un suelo permeable y profundo, franco-arenoso, en lo posible sin presencia de calcáreos ni cloruros.	La propagación por injerto es el método más apropiado
*Santa María Negra (<i>Piper aduncum</i>)	Hierba	NA	Raíces superficiales	Denso follaje que cubre mucha área.	6 a 7	ND	Es una especie que se reproduce por semillas
Cojoba Arborea (<i>Pithecellobium arboreum</i>)	Árbol	ND	Raíz fasciculada (lateral y vertical), se extiende de 3 a 4m.	Tiene una cobertura buena.	hasta 15	Suelos que retengan algo de humedad, neutros o ligeramente ácidos, y una exposición algo soleada.	Se reproduce por medio de semillas.
Michigüiste (<i>Pithecellobium unguis-cati</i>)	Árbol	ND	Raíz fasciculada (lateral y vertical), se extiende de 3 a 4m.	Tiene una cobertura buena.	3 a 10	Variedad de tipos de suelo, incluyendo arcillas, suelos rocosos de piedra caliza, arenas pobres en nutrientes.	Se reproduce bien tanto por semillas como por esquejes.
Juche (<i>Plumeria rubra</i>)	Árbol	ND	Raíces que pueden profundizar 3 m y alcanzar 3 m lateralmente.	Tiene una cobertura buena.	5 a 8	Se encuentra tanto en suelos derivados de materiales ígneos como de origen calizo.	Estacas o esquejes.
Mostrenco (<i>Prosopis juliflora</i>)	Árbol	0,86	Las raíces pueden llegar a 20 m de profundidad.	Tiene una cobertura regular.	2 a 12	En suelos áridos desarrolla la raíz a gran profundidad (20 m).	1. Rizoma. 2. Acodo aéreo. 3. Brotes o retoños. Rebrotan rápidamente después del corte. 4. Rebrotos de raíz. 4. Estacas ó esquejes.
Ceibo Barrigón (<i>Pseudobombax septenatum</i>)	Árbol	0,14	Raíz fasciculada (lateral y vertical), se extiende de 3 a 4m.	Tiene una cobertura buena.	hasta 30	Habita principalmente en áreas marginales, como las sabanas, las orillas de los humedales y bermas arenosas.	Su propagación es por medio de semillas.

PEB: Peso Específico Básico de la madera

ND: No Disponible

NA: No Aplica

*Especie para control de erosión

Cuadro 6.1. Especies vegetales que cumplen con características para la estabilización de taludes (cont.)

Nombre	Tipo	PEB (g/cm ³)	Tipo de raíz	Cobertura	Altura(m)	Suelos	Propagación
Guayaquil (<i>Pseudosamanea guachapele</i>)	Árbol	ND	Ya ha sido utilizado para estabilidad de laderas en países como Colombia.	Tiene una cobertura regular.	25 a 30	Prefiere suelos bien drenados, fertilidad de media a alta, con un pH mayor a 5.	Se propaga por medio de semillas.
Guayabo (<i>Psidium guajava</i>)	Árbol	ND	Fasciculado, lateral y pivotante.	Tiene una cobertura regular.	3 a 10	Suelos bien drenados, con abundante materia orgánica y un pH de 4.5 a 7.5.	Regeneración natural., Semilla (plántulas).
Cenízaro (<i>Samanea saman</i>)	Árbol	0,45	Raíz profunda. pivotante	Tiene una cobertura buena.	hasta 20	Crece mejor en los suelos aluviales profundos con un buen drenaje y una reacción de neutral a ligeramente ácida.	Propagación por semillas.
Jaboncillo (<i>Sapindus saponaria</i>)	Árbol	0,8	Raíz fasciculada (lateral y vertical), se extiende de 3 a 4m.	Tiene una cobertura mala.	hasta 16	Todo tipo de suelos y que requiere un clima cálido, exposición a pleno sol y suelos frescos y bien drenados.	Se multiplica por semillas y por esquejes.
Gallinazo (<i>Schizolobium parahyba</i>)	Árbol	0,67	Raíz profunda. pivotante	Tiene una cobertura regular.	10 a 30	Se desarrolla en gran variedad de suelos como material calizo, aluviales o volcánicos.	Semilla (plántulas).
*Escobilla (<i>Sida rhombifolia</i>)	Hierba	NA	Raíz profunda para ser pivotante	Densa cobertura de vegetación.	0,5 a 1,5	Crece con su sistema de raíces fuertes en suelos difíciles y puede ser utilizada como planta de forraje	Propagación por semillas.
Jobo (<i>Spondias mombin</i>)	Árbol	0,36	Sistema radical con raíz profunda. pivotante	Tiene una cobertura regular.	hasta 30	Se da más en los oxisoles, ultisoles e inceptisoles. El pH del suelo varía de 5.0 hasta arriba de 7.0.	Propagación por semillas.
Corteza Amarilla (<i>Tabebuia chrysantha</i>)	Árbol	0,95 a 1,25	Raíz fasciculada (lateral y vertical), se extiende de 3 a 4m.	Tiene una cobertura buena.	hasta 35	Se encuentra en suelos derivados de materiales ígneos o metamórficos, o en suelos arenosos de las riberas.	Por semillas (sexual). Para el período de lluvias las semillas suelen estar maduras, y es en ese momento cuando ocurre la germinación.

PEB: Peso Específico Básico de la madera
 ND: No Disponible
 NA: No Aplica
 *Especie para control de erosión

Cuadro 6.1. Especies vegetales que cumplen con características para la estabilización de taludes (cont.)

Nombre	Tipo	PEB (g/cm ³)	Tipo de raíz	Cobertura	Altura(m)	Suelos	Propagación
Roble Sabana (<i>Tabebuia rosea</i>)	Árbol	0,48	Es extendido, puede llegar a profundidades mayores de 8 m.	Tiene una cobertura mala.	hasta 30	Se adapta a suelos calcáreos, arcillosos y cenagosos.	Su propagación es por medio de semillas.
Teca (<i>Tectona grandis</i>)	Árbol	0,61	Raíz pivotante profunda y con numerosas raíces laterales.	Tiene una cobertura regular.	hasta 45	Variedad de suelos, el mejor desarrollo se da en suelos aluviales profundos, porosos, fértiles y bien drenados.	Los troncos de teca rebrotan al ser cortados o dañados, y el crecimiento inicial es rápido.
Cacao (<i>Theobroma cacao</i>)	Árbol	ND	Raíz pivotante profunda que puede alcanzar 2 m o más.	Tiene una cobertura regular.	4 a 7	Para su pleno desarrollo exige suelos profundos (1 m como mínimo), fértiles y bien drenados.	Estacas, cortes de tallo, también por medio de semillas.
Sotacaballo (<i>Zygia longifolia</i>)	Árbol	ND	Raíz pivotante profunda produce buen drenaje.	Tiene una cobertura buena.	4 a 8	Tienden a crecer a orillas de los ríos en suelos arenosos con buen drenaje.	Se propaga tanto por semillas (sexual) como asexualmente.

PEB: Peso Específico Básico de la madera

ND: No Disponible

NA: No Aplica

*Especie para control de erosión

Cuadro 6.2 Árboles y arbustos que pueden funcionar para estabilizar masas de suelo con superficies de falla a una profundidad aproximada de 2 a 3 metros.

ACHIOTE
Familia: Bixaceae
Nombre científico: Bixa orellana
Distribución: Ampliamente distribuido en el neotrópico, plantado y naturalizado en regiones tropicales y subtropicales del mundo.
Resistencia a la sequía: nd
Requiere sol/sombra: nd
Crecimiento:
Zonas de vida: bmh-T, bh-P, bp-MB, bh-T, bmh-P



AGUACATE
Familia: Lauraceae
Nombre científico: Persea americana
Distribución: América Tropical
Resistencia a la sequía: poca
Requiere sol/sombra: sol
Crecimiento: nd
Zonas de vida: bs-T, bh-MB, bmh-MB, bp-MB, bh-T, bmh-P, bmh-T, bp-P



CALISTEMON
Familia: Myrtaceae
Nombre científico: Callistemon viminalis
Distribución: Es nativo de los estados de Nueva Gales del Sur y Queensland en Australia donde con frecuencia se encuentra a lo largo de cursos de agua.
Resistencia a la sequía: Alta
Requiere sol/sombra: sol
Crecimiento: ritmo rápido
Zonas de vida: bh-P



CAIMITO
Familia: Sapotaceae
Nombre científico: Chrysophyllum cainito
Distribución: Nativo probablemente de Las Antillas, cultivado en Centro y Sur América.
Resistencia a la sequía: nd
Requiere sol/sombra: sol y sombra
Crecimiento: especie de crecimiento rápido
Zonas de vida: bh-P, bh-T, bmh-P, bmh-T



CARBONCILLO
Familia: Fabaceae
Nombre científico: Albizia carbonaria
Distribución: Género pantropical, de Asia, África, Madagascar, América Central, América del Sur, sur de Norteamérica, Australia, pero mayormente en los trópicos del Viejo Mundo.
Resistencia a la sequía: nd
Requiere sol/sombra: Sol
Crecimiento: rápido crecimiento
Zonas de vida : bmh-P, bmh-T, bp-MB.



CEIBO BARRIGÓN
Familia: Malvaceae
Nombre científico: Pseudobombax septenatum
Distribución: Desde Nicaragua hasta el norte de Suramérica.
Resistencia a la sequía: nd
Requiere sol/sombra: nd
Crecimiento: nd
Zonas de vida: bh-P, bh-T, bmh-P, bmh-T.



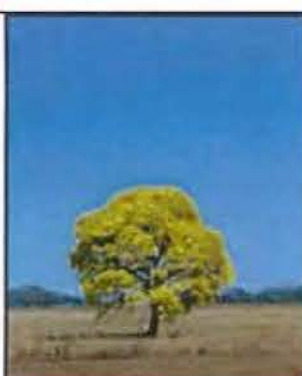
COJOBA ARBOREA
Familia: Fabaceae
Nombre científico: Pithecellobium arboreum
Distribución: Centroamérica, México y el Caribe
Resistencia a la sequía: nd
Requiere sol/sombra: sol y sombra
Crecimiento: árbol de rápido crecimiento
Zonas de vida: bh-T, bmh-T, bp-P.




CORCHO AUSTRALIANO
Familia: Myrtaceae
Nombre científico: Melaleuca quinquenervia
Distribución: América tropical, Australia, EEUU
Resistencia a la sequía: nd
Requiere sol/sombra: Sol y sombra
Crecimiento: árbol de rápido crecimiento
Zonas de vida: bh-P, bmh-P.



CORTEZA AMARILLA
Familia: Bignoniaceae
Nombre científico: Tabebuia chrysantha
Distribución: América tropical.
Resistencia a la sequía: moderada
Requiere sol/sombra: nd
Crecimiento: especie de crecimiento lento
Zonas de vida: bh-T, bmh-P, bmh-T, bp-P.



COYOL
Familia: Arecaceae
Nombre científico: Acrocomia aculeata
Distribución: Se encuentra desde México y las Antillas hasta Bolivia, Argentina y Paraguay.
Resistencia a la sequía:
Requiere sol/sombra: Sol
Crecimiento: es de rápido crecimiento
Zonas de vida : bh-T, bmh-P, bmh-T, bs-T, bh-P



EUCALIPTO
Familia: Myrtaceae
Nombre científico: Eucalyptus saligna
Distribución: Nativo de Australia
Resistencia a la sequía: Moderada
Requiere sol/sombra: nd
Crecimiento: nd
Zonas de vida: bmh-P, bh-P.



GANDUL
Familia: Papilionaceae
Nombre científico: Cajanus cajan
Distribución: Ampliamente cultivada y naturalizada en los trópicos y subtrópicos de ambos hemisferios
Resistencia a la sequía: Alta
Requiere sol/sombra: Sol
Crecimiento: muy rápido
Zonas de vida: bmh-P.



GUABA DE CAITE

Familia: Fabaceae
Nombre científico: Inga densiflora
Distribución: Extensamente, desde México hasta Suramérica.
Resistencia a la sequía: nd
Requiere sol/sombra: nd
Crecimiento: crecimiento lento
Zonas de vida: bh-P, bp-MB, bh-T, bmh-P, bmh-T, bo-P, bmh-MB,



ILÁN-ILÁN

Familia: Annonaceae
Nombre científico: Cananga odorata
Distribución: Nativa de Birmania y Java, pero distribuida en todos los trópicos.
Resistencia a la sequía: Moderada
Requiere sol/sombra: nd
Crecimiento: árbol de crecimiento rápido
Zonas de vida: bh-T, bmh-T, bmh-P.



JACARANDA

Familia: Bignoniaceae
Nombre científico: Jacaranda mimosifolia
Distribución: EEUU, Centroamérica y Suramérica
Resistencia a la sequía: poca
Requiere sol/sombra: sol y sombra
Crecimiento: es medio con longevidad de mas de 100 años
Zonas de vida: bh-P



LEUCAENA

Familia: Fabaceae
Nombre científico: Leucaena leucocephala
Distribución: Introducida en E.U.A., Sudamérica, África y Asia, y actualmente pantropical
Resistencia a la sequía: Moderada
Requiere sol/sombra: Sol
Crecimiento: especie de crecimiento lento
Zonas de vida: bh-P, bh-T, bmh-P.



MELINA

Familia: Lamiaceae
Nombre científico: Gmelina arborea
Distribución: nativo de los bosques de la India y el sudeste de Asia. Introducido en Sierra Leona, Nigeria, Centroamérica y Sudamérica.
Resistencia a la sequía: nd
Requiere sol/sombra: sol
Crecimiento: es de rápido crecimiento
Zonas de vida: bmh-T, bmh-P,



MOSTRENCO

Familia: Fabaceae
Nombre científico: Prosopis juliflora
Distribución: EEUU, México, Centroamérica, Suamérica, Australia etc
Resistencia a la sequía: moderada
Requiere sol/sombra: nd
Crecimiento: velocidad de crecimiento media
Zonas de vida: bh-T, bs-T, bh-P.



TABACÓN

Familia: Ochnaceae
Nombre científico: Cespedesia macrophylla
Distribución: nd
Resistencia a la sequía: nd
Requiere sol/sombra: nd
Crecimiento: nd
Zonas de vida: bmh-P, bmh-T, bp-P



GUAYAQUIL

Familia: Fabaceae
Nombre científico: Pseudosamanea guachapele
Distribución: nd
Resistencia a la sequía: Moderada
Requiere sol/sombra: Sol y sombra
Crecimiento: especie de rápido crecimiento
Zonas de vida: bh-P, bh-T, bmh-T.



JABONCILLO

Familia: Sapindaceae
Nombre científico: Sapindus saponaria
Distribución: América tropical
Resistencia a la sequía: nd
Requiere sol/sombra: sol
Crecimiento: nd
Zonas de vida: bp-P, bs-T, bh-P, bh-T, bmh-P, bmh-T



JUCHE

Familia: Apocynaceae
Nombre científico: Plumeria rubra
Distribución: América tropical
Resistencia a la sequía: moderada
Requiere sol/sombra: nd
Crecimiento: especie de rápido crecimiento
Zonas de vida: bh-P, bh-T, bmh-P, bmh-T, bs-T



MADERO NEGRO

Familia: Fabaceae
Nombre científico: Gliricidia sepium
Distribución: México, Centroamérica y el Caribe
Resistencia a la sequía: Moderada
Requiere sol/sombra: Sol
Crecimiento: especie de muy rápido crecimiento
Zonas de vida: bh-P, bp-MB, bh-T, bmh-P, bmh-T, bp-P, bs-T.



MICHIGÜISTE

Familia: Fabaceae
Nombre científico: Pithecellobium unguis-cati
Distribución: De México a América del Sur y las Antillas, naturalizada en Florida y Bermudas.
Resistencia a la sequía: nd
Requiere sol/sombra: nd
Crecimiento: nd
Zonas de vida: bh-P, bs-T



ROBLE SABANA

Familia: Bignoniaceae
Nombre científico: Tabebuia rosea
Distribución: México, al norte de Suramérica.
Resistencia a la sequía: alta
Requiere sol/sombra: sol
Crecimiento: variado, lento o rápido dependiendo del sitio
Zonas de vida: bh-T, bmh-P, bmh-T, bs-T, bh-P, bp-MB.



ZAPOTE, SAPADILLA

Familia: Sapotaceae
Nombre científico: Manilkara zapota
Distribución: América central y América del Sur tropical.
Resistencia a la sequía: Moderada
Requiere sol/sombra: Sol y sombra
Crecimiento: especie de crecimiento lento
Zonas de vida: bh-MB, bh-P, bp-MB, bh-T, bmh-P, bmh-T.



Cuadro 6.3. Árboles y arbustos que pueden funcionar para estabilizar masas de suelo con una superficie de falla a una profundidad de 1 a 2 m.

AMAPOLA
Familia: Malvaceae
Nombre científico: Malvaviscus arboreus
Distribución: es originaria del sudeste de los EEUU , México, Centroamérica, y Sudamérica.
Resistencia a la sequía: nd
Requiere sol/sombra: nd
Crecimiento: de rápido crecimiento
Zonas de vida: bmh-T, bp-P, bs-T, bmh-MB, bh-P, bp-MB, bh-T.




ANONA
Familia: Annonaceae
Nombre científico: Annona cherimola
Distribución: En la actualidad se cultiva en América Central, Bolivia, Chile, España, EE.UU. , Israel, México, Nueva Zelanda, Perú y Sudáfrica. Tanto Chile, Perú, Costa Rica, Guatemala, EE.UU., México y España
Resistencia a la sequía: Moderada
Requiere sol/sombra: Sol
Crecimiento: árbol de crecimiento lento
Zonas de vida : bmh-P, bh-P, bp-MB, bh-MB.



ARCO O PALO DE ARCO
Familia: Fabaceae
Nombre científico: Myrospermum frutescens
Distribución: Centroamérica, México; el Caribe y parte de Suramérica
Resistencia a la sequía: Alta
Requiere sol/sombra: nd
Crecimiento: relativamente lento
Zonas de vida: bh-T, bs-T, bh-P.




ARIPIN
Familia: Fabaceae
Nombre científico: Caesalpinia velutina
Distribución: nd
Resistencia a la sequía: Alta
Requiere sol/sombra: nd
Crecimiento: crecimiento lento
Zonas de vida: bp-P



AROMO
Familia: Fabaceae
Nombre científico: Acacia farnesiana
Distribución: Incierto. Al parecer originaria de Suramérica y hoy día difundida por todos los continentes.
Resistencia a la sequía: Alta
Requiere sol/sombra: n.d
Crecimiento: es de rápido crecimiento
Zonas de vida : bh-P, bs-T, bh-T, bmh-P



BALSA O BALSÓ
Familia: Malvaceae
Nombre científico: Ochroma pyramidale
Distribución: Originario de América, su cultivo es pantropical.
Resistencia a la sequía: nd
Requiere sol/sombra: Sol
Crecimiento: especie de rápido crecimiento
Zonas de vida: bh-P, bh-T, bmh-P, bmh-T, bp-P,



CACAO
Familia: Malvaceae
Nombre científico: Theobroma cacao
Distribución: México, Centroamérica y Suramérica
Resistencia a la sequía: Poca
Requiere sol/sombra: sombra
Crecimiento: nd
Zonas de vida: bh-T, bmh-P, bmh-T, bh-P.



CAPULÍN DE COMER
Familia: Muntingiaceae
Nombre científico: Muntingia calabura
Distribución: México, Centroamérica y la parte occidental de Suramérica
Resistencia a la sequía: Moderada
Requiere sol/sombra: Sol
Crecimiento: especie de rápido crecimiento
Zonas de vida: bp-MB, bmh-P, bmh-T, bs-T, bh-P.




CARAO AMARILLO
Familia: Fabaceae
Nombre científico: Cassia moschata
Distribución: Guyana, Panamá, Venezuela o los trópicos
Resistencia a la sequía: nd
Requiere sol/sombra: nd
Crecimiento: nd
Zonas de vida: bh-T, bmh-P, bh-P.




CEDRO AMARGO
Familia: Meliaceae
Nombre científico: Cedrela odorata
Distribución: Se encuentra desde México a Sur América y Las Antillas.
Resistencia a la sequía: Moderada
Requiere sol/sombra: Sombra y sol
Crecimiento: Especie de rápido crecimiento
Zonas de vida: bh-P, bh-T, bmh-P, bmh-T, bp-P



CEDRO BATEO
Familia: Meliaceae
Nombre científico: Cedrela salvadorensis
Distribución: Desde México a Panamá.
Resistencia a la sequía: nd
Requiere sol/sombra: nd
Crecimiento: especie de rápido crecimiento
Zonas de vida: bh-P, bh-T, bmh-P.



CENÍZARO
Familia: Fabaceae
Nombre científico: Samanea saman
Distribución: Nativo de México hasta Brazil, Paraguay y Las Antillas.
Resistencia a la sequía: Moderada
Requiere sol/sombra: nd
Crecimiento: especie de crecimiento lento
Zonas de vida: bh-P, bh-T, bmh-P, bmh-T, bp-P, bs-T.



CUAJINIQUIL PELUDO

Familia: Fabaceae
Nombre científico: Inga oerstediana
Distribución: Desde México hasta Venezuela, las Antillas Menores, y desde el oeste de Suramérica hasta Bolivia.
Resistencia a la sequía: Moderada
Requiere sol/sombra: nd
Crecimiento: especie de rápido crecimiento
Zonas de vida: bh-P, bp-MB, bmh-P, bmh-T, bp-P, bmh-MB, bh-MB



ESPAVEL

Familia: Anacardiaceae
Nombre científico: Anacardium excelsum
Distribución: Originario de Honduras, Colombia, Ecuador y norte de Venezuela extendiéndose a otros países tropicales del mundo.
Resistencia a la sequía: nd
Requiere sol/sombra: Sol
Crecimiento: crece lento
Zonas de vida : bs-T, bh-P, bp-MB, bh-T, bmh-P, bmh-T.



FRESNO MEXICANO

Familia: Oleaceae
Nombre científico: Fraxinus uhdei
Distribución: nd
Resistencia a la sequía: poca
Requiere sol/sombra: nd
Crecimiento: especie de rápido y vigoroso crecimiento
Zonas de vida: bmh-P, bmh-MB



FRUTA DE PAN

Familia: Moraceae
Nombre científico: Artocarpus altii
Distribución: La acción antrópica ha distribuido la especie por todas las áreas tropicales del planeta, especialmente la zona de las Antillas.
Resistencia a la sequía: poca
Requiere sol/sombra: nd
Crecimiento: es de rápido crecimiento
Zonas de vida: bmh-T, bmh-P.



GALLINAZO

Familia: Fabaceae
Nombre científico: Schizolobium parahyba
Distribución: México, Centroamérica y parte norte de Suramérica
Resistencia a la sequía: moderada
Requiere sol/sombra: sol y sombra
Crecimiento: especie de rápido crecimiento
Zonas de vida: bs-T, bh-T, bmh-P.



GRAVILIA

Familia: Proteaceae
Nombre científico: Grevillea robusta
Distribución: Nativo de las costas del este de Australia.
Resistencia a la sequía: Moderada
Requiere sol/sombra: Sol y sombra
Crecimiento: Árbol de rápido crecimiento
Zonas de vida: bh-P, bp-MB, bmh-P.



GUABA

Familia: Fabaceae
Nombre científico: Inga skutchii
Distribución: Conocida del Valle del General y hasta la Península de Osa, Puntarenas
Resistencia a la sequía: nd
Requiere sol/sombra: sol y sombra
Crecimiento: nd
Zonas de vida: bh-P, bp-MB, bmh-P, bmh-T, bp-P, bh-MB.



GUÁCIMO

Familia: Malvaceae
Nombre científico: Guazuma ulmifolia
Distribución: México, Centroamérica y Suramérica.
Resistencia a la sequía: Moderada
Requiere sol/sombra: Sol y sombra
Crecimiento: especie de rápido crecimiento
Zonas de vida: bh-P, bh-T, bmh-P, bmh-T, bs-T, bmh-MB.



GUAITIL, JAGUA

Familia: Rubiaceae
Nombre científico: Genipa americana
Distribución: De México a Sur América y Las Antillas.
Resistencia a la sequía: Alta
Requiere sol/sombra: nd
Crecimiento: nd
Zonas de vida: bp-M, bh-P, bh-T, bmh-P, bmh-T, bp-P, bs-T



GUANABANA

Familia: Annonaceae
Nombre científico: Annona muricata
Distribución: Nativo posiblemente de los trópicos americanos.
Resistencia a la sequía: Moderada
Requiere sol/sombra: Sombra
Crecimiento: Especie de rápido crecimiento
Zonas de vida: bmh-P, bmh-T, bh-P, bh-T.



GUANACASTE

Familia: Mimosaceae
Nombre científico: Enterolobium cyclocarpum
Distribución: Nativo desde México hasta la parte norte de América del Sur.
Resistencia a la sequía: nd
Requiere sol/sombra: sol
Crecimiento: es de rápido crecimiento
Zonas de vida: bh-P, bh-T, bmh-P, bmh-T, bp-P, bs-T.



GUAPINOL

Familia: Caesalpinaceae
Nombre científico: Hymenaea courbaril
Distribución: Nativo desde México hasta Perú, Brasil y Las Antillas.
Resistencia a la sequía: nd
Requiere sol/sombra: sol y sombra
Crecimiento: especie de lento crecimiento
Zonas de vida: bs-T, bh-P, bh-T, bmh-P, bmh-T.



GUAYABO

Familia: Myrtaceae
Nombre científico: Psidium guajava
Distribución: América tropical
Resistencia a la sequía: Moderada
Requiere sol/sombra: Sol y sombra
Crecimiento: especie de rápido crecimiento
Zonas de vida: bh-P, bp-MB, bmh-P, bmh-T, bp-P, bmh-MB.



GUAYACÁN REAL

Familia: Zygophyllaceae
Nombre científico: Guaiacum sanctum
Distribución: Nativa desde el Sur de Florida, Este de México, Centroamérica hasta el norte de Sur América, además en Las Antillas
Resistencia a la sequía: Alta
Requiere sol/sombra: Sol
Crecimiento: árbol de lento crecimiento
Zonas de vida: bh-P, bh-T, bmh-P, bs-T.



HULE
Familia: Euphorbiaceae
Nombre científico: Hevea brasiliensis
Distribución: En la actualidad la distribución geográfica de este árbol se ha expandido allende Latinoamérica
Resistencia a la sequía: nd
Requiere sol/sombra: nd
Crecimiento: nd
Zonas de vida: bmh-P, bmh-T.



JABILLO
Familia: Euphorbiaceae
Nombre científico: Hura crepitans
Distribución: Es nativa de las regiones intertropicales americanas, tanto en América del Norte y Central como en América del Sur
Resistencia a la sequía: nd
Requiere sol/sombra: nd
Crecimiento: nd
Zonas de vida: bmh-T, bs-T, bh-P, bh-T, bmh-P




JACK-FRUIT
Familia: Moraceae
Nombre científico: Artocarpus heterophyllus
Distribución: Es una de las especies arbóreas más importantes de fruta del sudeste asiático. En las Américas, La jaca es más comúnmente Cultivada en Jamaica y Brasil.
Resistencia a la sequía: Moderada
Requiere sol/sombra: Sombra y sol
Crecimiento: nd
Zonas de vida: bmh-T, bmh-P,



JICARITO
Familia: Bignoniaceae
Nombre científico: Crescentia alata
Distribución: Es nativo del sur de México y América Central hacia el sur hasta Costa Rica.
Resistencia a la sequía: Moderada
Requiere sol/sombra: nd
Crecimiento: especie de lento crecimiento
Zonas de vida: bh-P, bh-T, bmh-P, bmh-T, bp-P, bs-T.



JÍCARO
Familia: Bignoniaceae
Nombre científico: Crescentia cujete
Distribución: De México a Colombia y las Antillas
Resistencia a la sequía: nd
Requiere sol/sombra: nd
Crecimiento: nd
Zonas de vida: bmh-P, bmh-T, bp-P, bs-T, bh-P, bh-T



JOBO
Familia: Anacardiaceae
Nombre científico: Spondias mombin
Distribución: En el mundo es nativo de México a Brasil y las Antillas.
Resistencia a la sequía: nd
Requiere sol/sombra: sol
Crecimiento: nd
Zonas de vida: bs-T, bh-P, bh-T, bmh-P, bmh-T.



LAUREL
Familia: Boraginaceae
Nombre científico: Cordia alliodora
Distribución: Nativo de México hasta el norte de Argentina y Las Antillas.
Resistencia a la sequía: Alta
Requiere sol/sombra: Sol
Crecimiento: es de rápido crecimiento
Zonas de vida: bh-P, bh-T, bmh-P, bmh-T, bp-P.



LIQUIDÁMBAR
Familia: Altingiaceae
Nombre científico: Liquidambar styraciflua
Distribución: nd
Resistencia a la sequía: Moderada
Requiere sol/sombra: Sol
Crecimiento: lento en crecimiento
Zonas de vida: bh-P, bmh-P.



MACADAMIA
Familia: Proteaceae
Nombre científico: Macadamia integrifolia
Distribución: nd
Resistencia a la sequía: nd
Requiere sol/sombra: nd
Crecimiento: nd
Zonas de vida: bmh-MB, bh-P, bh-T,



MAMEY
Familia: Calophyllaceae
Nombre científico: Mammea americana
Distribución: Nativa de la América tropical.
Resistencia a la sequía: Poca
Requiere sol/sombra: nd
Crecimiento: especie de crecimiento lento
Zonas de vida: bh-T, bmh-T, bp-P.



MAMÓN
Familia: Sapindaceae
Nombre científico: Melicoccus bijugatus
Distribución: especie nativa de América Central, las Antillas, Colombia y Venezuela
Resistencia a la sequía: Poca
Requiere sol/sombra: Sol
Crecimiento: su crecimiento es de moderado a lento
Zonas de vida: bh-P, bh-T.




MANGO
Familia: Anacardiaceae
Nombre científico: Mangifera indica
Distribución: América tropical y Asia.
Resistencia a la sequía: Alta
Requiere sol/sombra: Sol y sombra
Crecimiento: especie de rápido crecimiento
Zonas de vida: bh-P, bh-T, bmh-P, bmh-T, bp-P.



MARAÑÓN
Familia: Anacardiaceae
Nombre científico: Anacardium occidentale
Distribución: En el mundo es incierto su lugar de procedencia, pero se cultiva y está naturalizado en las zonas tropicales del mundo.
Resistencia a la sequía: Alta
Requiere sol/sombra: nd
Crecimiento: rápido crecimiento
Zonas de vida : bh-P, bp-MB, bh-T, bmh-P, bmh-T, bs-T.



MORA
Familia: Moraceae
Nombre científico: Maclura tinctoria
Distribución: nd
Resistencia a la sequía: Sol y sombra
Requiere sol/sombra: sol y sombra
Crecimiento: nd
Zonas de vida: bmh-P, bmh-T, bs-T, bh-P, bh-T.



NANCITE

Familia: Malpighiaceae
Nombre científico: *Byrsonima crassifolia*
Distribución: Se distribuye desde México hasta Bolivia, por Cuba y Santo Domingo
Resistencia a la sequía: nd
Requiere sol/sombra: Sol
Crecimiento: es de crecimiento lento
Zonas de vida: bh-P, bp-MB, bh-T, bmh-P, bmh-T, bp-P, bs-T.

**NÍSPERO JAPONÉS**

Familia: Rosaceae
Nombre científico: *Eriobotrya japonica*
Distribución: Nativo de China, pero introducido en zonas altas de los trópicos
Resistencia a la sequía: Moderada
Requiere sol/sombra: Sol y sombra
Crecimiento: crecimiento medio
Zonas de vida: bh-P, bp-MB.

**OJOCHE COLORADO**

Familia: Moraceae
Nombre científico: *Clarisia racemosa*
Distribución: México, Centroamérica y parte de Sur América
Resistencia a la sequía: nd
Requiere sol/sombra: Sol
Crecimiento: nd
Zonas de vida: bh-T, bmh-P, bmh-T.

**PALO VERDE**

Familia: Fabaceae
Nombre científico: *Parkinsonia aculeata*
Distribución: del suroeste de EEUU, México, Centroamérica, Argentina y las Antillas
Resistencia a la sequía: nd
Requiere sol/sombra: nd
Crecimiento: crecimiento rápido a moderado
Zonas de vida: bh-P, bh-T.

**PAPAYA**

Familia: Caricaceae
Nombre científico: *Carica papaya*
Distribución: América tropical, aunque se cultiva en los trópicos del mundo.
Resistencia a la sequía: Moderada
Requiere sol/sombra: Sol
Crecimiento: rápido crecimiento
Zonas de vida: bh-T, bmh-P, bmh-T, bs-T, bh-P, bp-MB.

**POCHOTE**

Familia: Malvaceae
Nombre científico: *Bombacopsis quinata*
Distribución: Se puede encontrar en los bosques secos tropicales de Costa Rica, Nicaragua, Panamá, Venezuela y Colombia.
Resistencia a la sequía: nd
Requiere sol/sombra: nd
Crecimiento: Árbol de crecimiento moderado
Zonas de vida: bmh-P, bh-P, bh-T.

**PORÓ AFRICANO**

Familia: Papilionaceae
Nombre científico: *Erythrina abyssinica*
Distribución: nd
Resistencia a la sequía: Alta
Requiere sol/sombra: Sol
Crecimiento: nd
Zonas de vida: bmh-P

**PORÓ BLANCO**

Familia: Fabaceae
Nombre científico: *Erythrina fusca*
Distribución: Árbol originario de Centroamérica y de Suramérica
Resistencia a la sequía: Alta
Requiere sol/sombra: nd
Crecimiento: Crecimiento rápido
Zonas de vida: bmh-P, bmh-T, bh-P, bh-T.

**SOTACABALLO**

Familia: Fabaceae
Nombre científico: *Zygia longifolia*
Distribución: México, Centroamérica y Suramérica
Resistencia a la sequía: moderada
Requiere sol/sombra: sol
Crecimiento: nd
Zonas de vida: bmh-P, bmh-T, bp-P, bs-T, bh-P, bh-T


**TECA**

Familia: Lamiaceae
Nombre científico: *Tectona grandis*
Distribución: Centroamérica y el norte de Suramérica, también en China
Resistencia a la sequía: nd
Requiere sol/sombra: nd
Crecimiento: nd
Zonas de vida: bmh-P, bmh-T, bh-P.



Cuadro 6.4 Hierbas y pastos para el control de erosión.


BEJUCO
 Familia: Vitaceae
 Nombre científico: *Cissus biformifolia*
 Distribución: México, Centroamérica, Venezuela
 Resistencia a la sequía: nd
 Requiere sol/sombra: nd
 Crecimiento: nd
 Zonas de vida: bh-P, bp-MB, bh-T, bmh-P, bmh-T, bp-P, bh-MB.



***BIJAGUA BLANCA**
 Familia: Marantaceae
 Nombre científico: *Calathea lutea*
 Distribución: De México a Perú y Venezuela, Guayanas, Brasil y las Antillas.
 Resistencia a la sequía: Moderada
 Requiere sol/sombra: Sol
 Crecimiento: su crecimiento medio
 Zonas de vida: bh-T, bmh-P, bmh-T, bp-P.




***CENTROSEMA**
 Familia: Fabaceae
 Nombre científico: *Centrosema pubescens*
 Distribución: nd
 Resistencia a la sequía: Alta
 Requiere sol/sombra: Sol
 Crecimiento: nd
 Zonas de vida: bh-P, bh-T, bmh-P, bmh-T, bh-MB



COQUITO
 Familia: Lamiaceae
 Nombre científico: *Hyptis capitata*
 Distribución: México a Panamá, Venezuela, Ecuador, Perú y las Antillas
 Resistencia a la sequía: nd
 Requiere sol/sombra: nd
 Crecimiento: nd
 Zonas de vida: bp-P, bs-T, bh-P, bp-MB, bh-T, bmh-P, bmh-T.




***ESCOBILLA**
 Familia: Malvaceae
 Nombre científico: *Sida rhombifolia*
 Distribución: nd
 Resistencia a la sequía: moderada
 Requiere sol/sombra: nd
 Crecimiento: especie de rápido crecimiento
 Zonas de vida: bs-T, bmh-MB, bh-P, bp-MB, bh-T, bmh-P, bmh-T, bp-P.



***FRIJOL TREPADOR**
 Familia: Fabaceae
 Nombre científico: *Lablab purpureus*
 Distribución: nativa de África, pero cultivada en los trópicos y regiones templadas.
 Resistencia a la sequía: Moderada
 Requiere sol/sombra: nd
 Crecimiento: nd
 Zonas de vida: bh-P, bmh-P.



***GALLINITA**
 Familia: Fabaceae
 Nombre científico: *Centrosema plumieri*
 Distribución: México a Brasil, también en las Antillas.
 Resistencia a la sequía: Alta
 Requiere sol/sombra: Sol
 Crecimiento: nd
 Zonas de vida: bh-P, bh-T, bmh-P, bmh-T, bp-P, bs-T.



***JUNCO DE AGUA**
 Familia: Cyperaceae
 Nombre científico: *Cyperus ligularis*
 Distribución: México, Centroamérica, Suramérica y el Caribe
 Resistencia a la sequía: nd
 Requiere sol/sombra: Sol y sombra
 Crecimiento: nd
 Zonas de vida: bh-P, bh-T, bmh-P, bmh-T.




***LOBELIA, CARAGALLO**
 Familia: Campanulaceae
 Nombre científico: *Lobelia laxiflora*
 Distribución: Del sur de Estados Unidos a Perú
 Resistencia a la sequía: Moderada
 Requiere sol/sombra: Sol
 Crecimiento: nd
 Zonas de vida: bh-T, bmh-P.



***MANO DE TIGRE**
 Familia: Araceae
 Nombre científico: *Monstera deliciosa*
 Distribución: De México a Panamá.
 Resistencia a la sequía: poca
 Requiere sol/sombra: Sol y sombra
 Crecimiento: especie de rápido crecimiento
 Zonas de vida: bp-MB, bmh-P, bmh-T, bp-P, bp-M



***PASTO BERMUDA**
 Familia: Poaceae
 Nombre científico: *Cynodon dactylon*
 Distribución: Regiones templadas del Viejo Mundo, introducida a América (presente en Norte, Centro y Sudamérica) e Islas del Caribe. En la Flora de Norteamérica se encuentra un mapa de distribución.
 Resistencia a la sequía: Moderada
 Requiere sol/sombra: nd
 Crecimiento: nd
 Zonas de vida: bh-P, bh-T, bmh-P, bs-T.



***PASTO ELEFANTE**
 Familia: Poaceae
 Nombre científico: *Pennisetum purpureum*
 Distribución: América Tropical
 Resistencia a la sequía: Moderada
 Requiere sol/sombra: Sol y sombra
 Crecimiento: especie de rápido crecimiento
 Zonas de vida: bh-P, bp-MB, bh-T, bmh-P, bmh-T, bp-P, bs-T, bmh-MB



PASTO ESTRELLA
 Familia: Hypoxidaceae
 Nombre científico: *Hypoxis decumbens*
 Distribución: EEUU, México, Centroamérica y parte de Suramérica
 Resistencia a la sequía: Moderada
 Requiere sol/sombra: Sol y sombra
 Crecimiento: nd
 Zonas de vida: bp-MB, bmh-P, bmh-MB, bp-P, bh-P, bp-M.



***PASTO GUINEA**
 Familia: Poaceae
 Nombre científico: *Panicum maximum*
 Distribución: América Tropical
 Resistencia a la sequía: Moderada
 Requiere sol/sombra: Sol y sombra
 Crecimiento: nd
 Zonas de vida: bh-P, bh-T, bmh-P, bmh-T.



nd: no disponible

***PASTO NEGRO**

Familia: Poaceae
Nombre científico: Paspalum plicatulum
Distribución: Suramérica, Centroamérica, México y el Caribe
Resistencia a la sequía: nd
Requiere sol/sombra: Sol
Crecimiento: nd
Zonas de vida: bmh-P, bh-P, bp-MB, bmh-T, bs-T, bh-T.

***PIÑUELA**

Familia: Bromeliaceae
Nombre científico: Bromelia pinguin
Distribución: De México al norte de Sur América, y en las Antillas.
Resistencia a la sequía: nd
Requiere sol/sombra: nd
Crecimiento: nd
Zonas de vida: bmh-P, bmh-T, bs-T bh-P, bh-T.

***SANTA MARÍA NEGRA**

Familia: Piperaceae
Nombre científico: Piper aduncum
Distribución: América tropical
Resistencia a la sequía: nd
Requiere sol/sombra: nd
Crecimiento: nd
Zonas de vida: bh-P, bp-MB, bh-T, bmh-P, bmh-T.

***SOMBRILLA DE POBRE**

Familia: Gunneraceae
Nombre científico: Gunnera insignis
Distribución: nd
Resistencia a la sequía: Poca
Requiere sol/sombra: Sol y sombra
Crecimiento: nd
Zonas de vida: bp-MB, bp-P, bmh-MB, bp-M

***TREBOLILLO**

Familia: Fabaceae
Nombre científico: Desmodium triflorum
Distribución: Se distribuye en zonas tropicales del mundo, con la mayor concentración de especies en el Este de Asia, México y Brasil.
Resistencia a la sequía: Moderada
Requiere sol/sombra: nd
Crecimiento: nd
Zonas de vida: bh-P, bh-T, bmh-P, bmh-T, bs-T.

***ZACATE AMARGO**

Familia: Poaceae
Nombre científico: Paspalum conjugatum
Distribución: Se encuentra en las regiones tropicales a subtropicales en ambos hemisferios
Resistencia a la sequía: Moderada
Requiere sol/sombra: Sol y sombra
Crecimiento: nd
Zonas de vida: bp-MB, bh-T, bmh-P, bmh-T, bp-P, bmh-MB, bh-P.

***ZACATE BOLIVIANO**

Familia: Poaceae
Nombre científico: Panicum polygonatum
Distribución: nd
Resistencia a la sequía: nd
Requiere sol/sombra: nd
Crecimiento: nd
Zonas de vida: bp-MB, bh-T, bmh-P, bmh-T, bp-P, bh-MB.

***ZACATE CABEZÓN**

Familia: Poaceae
Nombre científico: Paspalum paniculatum
Distribución: Suramérica, Centroamérica, Antillas, Angola, Nueva Guinea etc
Resistencia a la sequía: nd
Requiere sol/sombra: nd
Crecimiento: nd
Zonas de vida: bh-P, bmh-P, bmh-T, bp-P, bs-T, bh-T

***ZACATE ILUSIÓN**

Familia: Poaceae
Nombre científico: Panicum trichoides
Distribución: Se encuentra desde México a Centro América, Jamaica y Sur América
Resistencia a la sequía: nd
Requiere sol/sombra: nd
Crecimiento: nd
Zonas de vida: bh-T, bmh-P, bmh-T, bp-P, bs-T, bh-P.

***ZACATÓN**

Familia: Poaceae
Nombre científico: Paspalum virgatum
Distribución: América Tropical
Resistencia a la sequía: poca
Requiere sol/sombra: nd
Crecimiento: nd
Zonas de vida: bh-P, bp-MB, bh-T, bmh-P, bmh-T.



Cuadro 6.5. Zonas de vida para cada uno de los distritos de Costa Rica

Provincia de San José									
Cantón	Distrito	Zona de vida	Cantón	Distrito	Zona de vida				
San José	Carmen	bh-P	Aserrí	Aserrí	bmh-MB, bmh-P, bh-P				
	Merced	bh-P		Tarbaca	bmh-MB, bmh-P, bh-P				
	Hospital	bh-P		Vuelta de Jorco	bmh-MB, bmh-P				
	Catedral	bh-P		San Gabriel	bmh-MB, bmh-P, bh-P				
	Zapote	bh-P		Legua	bmh-P, bmh-MB, bp-MB, bmh-T, bp-P				
	San Francisco de Dos Ríos	bh-P		Monterrey	bmh-P, bmh-MB				
	Uruca	bh-P, bmh-P		Salitrillos	bmh-MB, bmh-P, bh-P, bh-MB				
	Mata Redonda	bh-P		Colón	bmh-P, bmh-MB, bh-P, bh-T				
	Pavas	bh-P		Guayabo	bmh-P, bh-T				
	Hatillo	bh-P		Tabarcia	bmh-MB, bmh-P, bh-T				
	San Sebastián	bh-P		Piedras Negras	bmh-P, bh-T				
Desamparados	Desamparados	bh-P	Mora	Picagres	bmh-P, bh-T				
	San Miguel	bmh-P, bh-P, bh-MB,		Goicoechea	Guadalupe	bh-P			
	San Juan de Dios	bmh-P, bh-P			San Francisco	bh-P			
	San Rafael Arriba	bmh-P, bh-P			Calle Blancos	bh-P			
	San Antonio	bh-P, bmh-P			Mata de Plátano	bmh-MB, bh-P, bmh-P			
	Frailles	bmh-P, bh-P, bh-MB			Ipís	bmh-P, bh-P			
	Patarrá	bmh-MB, bh-P, bh-MB, bmh-P			Rancho Redondo	bmh-MB, bmh-P, bp-M, bh-MB, bmh-M			
	San Cristóbal	bh-MB, bh-P, bmh-MB			Purrál	bh-P, bmh-P, bmh-MB			
	Rosario	bh-MB, bh-P, bmh-MB, bmh-P			Santa Ana	Santa Ana	bh-P		
	Damas	bh-P				Salitral	bmh-P, bh-P, bmh-MB		
	Sab Rafael Abajo	bh-P				Pozos	bh-P		
Gravilias	bh-P	Uruca	bh-P, bmh-P						
Los Guido	bh-P	Piedades	bmh-MB, bh-P, bmh-P						
Puriscal	Santiago	bmh-P, bh-T	Santa Ana	Brasil		bmh-P, bh-T, bh-P			
	Mercedes Sur	bmh-P, bh-T, bmh-T, bp-MB, bp-P		Alajuelita		Alajuelita	bh-P		
	Barbacoas	bmh-P, bh-T				San Josecito	bmh-MB, bmh-P, bh-P		
	Grifo Alto	bmh-P, bh-T				San Antonio	bmh-MB, bmh-P		
	San Rafael	bmh-P				Concepción	bmh-P, bh-P		
	Candelarita	bmh-T, bmh-P, bh-T				San Felipe	bmh-MB, bh-P		
	Desamparaditos	bh-T, bmh-P			Tarrazú	San Marcos	bmh-MB, bmh-P, bh-MB		
	San Antonio	bh-T, bmh-P				San Lorenzo	bmh-MB, bp-P, bmh-P, bp-MB, bmh-T		
	Chires	bmh-T, bmh-P				San Carlos	bmh-MB, bp-P, bmh-P, bp-MB, bmh-T		
	Montes de Oca	San Pedro				bmh-P, bh-P	Curridabat	Curridabat	bmh-P, bh-P
		Sabanilla				bmh-P, bh-P		Granadilla	bmh-P, bh-P
Mercedes		bh-P	Sánchez			bmh-P, bh-P			
San Rafael		bmh-MB, bmh-P	Tirrasas	bmh-P, bh-P					
Escazú	Escazú	bmh-MB, bh-P	Dota	San María		bh-MB, bmh-MB, bp-P, bmh-P, bp-MB, bmh-T			
	San Antonio	bmh-MB, bh-P		Jardín		bh-MB, bmh-MB			
	San Rafael	bh-P		Copey		bmh-MB, bp-P, bp-M, bp-MB, bmh-T			

Nota: Ver **cuadro 3.1** para abreviaturas de las Zonas de Vida según Holdridge.

Cuadro 6.5. Zonas de vida para cada uno de los distritos de Costa Rica (cont.)

Provincia de San José (cont.)			
Cantón	Distrito	Zona de vida	
Acosta	San Ignacio	bmh-P, bh-T	
	Guaitil	bmh-P, bh-T	
	Palmichal	bmh-MB, bmh-P, bh-T	
	Cangrejal	bmh-P, bh-T, bmh-MB, bp-P, bp-MB	
	Sabanillas	bmh-P, bh-T, bp-P, bp-MB, bmh-T	
Tibás	San Juan	bh-P	
	Cinco Esquinas	bh-P	
	Anselmo Llorente	bh-P	
	León XIII	bh-P	
	Colima	bh-P	
Moravia	San Vicente	bmh-P, bh-P	
	San Jerónimo	bp-P, bp-MB, bmh-MB	
	Trinidad	bmh-P, bh-P	
Vasquez de Coronado	San Isidro	bmh-MB, bmh-P	
	San Rafael	bmh-MB, bmh-P, bp-M	
	Dulce Nombre de Jesús	bmh-T, bmh-P, bmh-MB, bp-MB, bp-P	
	Patalillo	bmh-P	
	Cascajal	bp-M, bmh-P, bmh-MB, bp-MB, bp-P, bmh-T	
	San Isidro del General	bp-P, bp-MB, bmh-P, bmh-T	
Perez Zeledón	General	bp-M, bmh-P, bh-T, bp-P, bp-MB	
	Daniel Flores	bmh-P, bh-T	
	Rivas	bmh-MB, bp-M, bp-MB, PP-SA, bmh-P, bp-P	
	San Pedro	bp-M, bmh-P, bmh-T, bp-P, bp-MB	
	Plantanares	bp-P, bmh-P, bmh-T, bh-T	
	Peñibaye	bp-P, bmh-P, bh-T, bh-P	
	Cajón	bp-M, bmh-P, bh-T, bp-P, bp-MB	
	Barú	bmh-T, bmh-P, bp-P	
	Río Nuevo	bmh-MB, bp-P, bp-MB, bmh-P, bmh-T	
	Páramo	bmh-MB, bp-P, bp-M, bp-MB, bmh-P	
	Turrubares	San Pablo	bh-T
		San Pedro	bh-T
		San Juan de Mata	bmh-P, bp-P, bh-T
San Luis		bmh-P, bp-P, bp-MB, bh-T	
Carara		bmh-P, bp-P, bmh-T	
León Cortés	San Pablo	bh-MB, bmh-MB, bmh-P	
	San Andrés	bmh-P, bmh-MB	
	Llano Bonito	bmh-MB, bp-P, bmh-P	
	San Isidro	bh-MB, bmh-MB, bmh-P	
	Santa Cruz	bh-MB, bh-P	
San Antonio	bmh-P, bh-P, bmh-MB		

Nota: Ver **cuadro 3.1** para abreviaturas de las Zonas de Vida según Holdridge.

Cuadro 6.5. Zonas de vida para cada uno de los distritos de Costa Rica (cont.)

Provincia de Alajuela					
Cantón	Distrito	Zona de vida	Cantón	Distrito	Zonas de vida
Alajuela	Alajuela	bmh-P, bh-P	San Carlos	Ciudad Quesada	bmh-P, bmh-T, bp-P, bp-MB, bmh-MB
	San José	bmh-P		Florencia	bh-T, bmh-P, bp-P, bmh-T
	Carrizal	bmh-MB, bmh-P		Buena Vista	bp-P, bmh-P, bmh-T
	San Antonio	bh-P		Aguas Zarcas	bp-P, bmh-P, bmh-T, bp-MB, bh-T
	Guácima	bh-P, bh-T		Venecia	bmh-P, bmh-T, bp-P, bp-MB
	San Isidro	bp-MB, bmh-MB, bmh-P		Pital	bmh-P, bmh-T, bh-T
	Sabanilla	bp-MB, bmh-MB, bp-M, bmh-P, bh-P		Fortuna	bmh-P, bmh-T, bh-T, bp-P, bp-MB
	San Rafael	bh-P, bh-T		Tigra	bmh-P, bmh-T, bp-P
	Río Segundo	bh-P		Palmera	bmh-P, bmh-T, bp-P, bh-T, bp-MB
	Desamparados	bmh-P, bh-P		Venado	bmh-T, bmh-P, bp-P
	Turrucareas	bh-P, bh-T		Cutris	bmh-P, bmh-T, bh-T
	Tambor	bmh-P, bh-P		Monterrey	bp-P, bmh-P, bmh-T, bh-T
	Garita	bh-P, bh-T		Pocosol	bmh-P, bmh-T, bh-T
	Sarapiquí	bp-P, bmh-P, bmh-T, bmh-MB, bp-M		Atenas	bh-P, bh-T
San Ramón	San Ramón	bh-P	Atenas	Jesús	bmh-P, bh-T, bh-P
	Santiago	bmh-P, bh-P, bmh-MB,		Mercedes	bh-P, bh-T
	San Juan	bmh-P, bh-P		San Isidro	bmh-T, bh-T
	Piedades Norte	bmh-P, bp-P, bp-MB, bh-P, bmh-MB		Concepción	bh-T, bh-P
	Piedades Sur	bmh-P, bp-MB, bmh-MB, bh-T		San José	bmh-P, bh-T
	San Rafael	bmh-P, bh-P, bmh-MB		Santa Eulalia	bmh-P, bh-T, bh-P
	San Isidro	bmh-P, bh-P		Escobal	bmh-P, bh-T, bh-P
	Angeles	bmh-P, bmh-T, bp-P, bp-MB, bmh-MB, bh-P	Naranjo	Naranjo	bmh-P, bh-T, bh-P
	Alfaro	bmh-P, bh-P		San Miguel	bh-P, bmh-P, bh-T
	Volio	bmh-P, bh-P		San José	bmh-P, bmh-MB, bh-MB, bh-P
	Concepción	bmh-P, bh-P		Cirrí Sur	bmh-P, bh-P, bh-MB, bp-MB, bmh-MB
	Zapotal	bmh-P, bp-P, bp-MB, bmh-MB, bh-T		San Jerónimo	bp-MB, bmh-MB, bmh-P, bh-P, bh-T
	Peñas Blancas	bh-T, bmh-P, bmh-T, bp-P, bp-MB,		San Juan	bh-P, bmh-P
	Palmares	bh-P		Rosario	bh-P, bmh-P, bh-T
Palmares	Zaragoza	bmh-P, bh-P	Orotina	Orotina	bh-T
	Buenos Aires	bmh-P, bh-P		Mastate	bh-T
	Santiago	bmh-P, bh-P		Hacienda Vieja	bmh-P, bh-T
	Candelaria	bmh-P, bh-P, bh-T		Coyolar	bh-T
	Esquipulas	bh-P		Ceiba	bh-T, bh-P
	Granja	bmh-P, bh-P		Los Chiles	Los Chiles
San Mateo	San Mateo	bmh-P, bmh-T	Caño Negro		bh-T
	Desmonte	bmh-P, bmh-T	El Amparo		bh-T
	Jesús María	bmh-P, bh-T	San Jorge		bh-T, bmh-P

Nota: Ver **cuadro 3.1** para abreviaturas de las Zonas de Vida según Holdridge.

Cuadro 6.5. Zonas de vida para cada uno de los distritos de Costa Rica (cont.)

Provincia de Alajuela (cont.)		
Cantón	Distrito	Zonas de vida
Alfaro Ruiz	Zarcero	bp-MB, bmh-MB
	Laguna	bmh-P, bp-P, bmh-T, bmh-MB
	Tapesco	bmh-P, bmh-MB
	Guadalupe	bmh-P, bp-P, bmh-MB, bh-P
	Palmira	bp-MB, bmh-MB
	Zapote	bmh-P, bmh-MB, bmh-T, bp-P
	Brisas	bmh-MB, bp-MB, bmh-P
Valverde vega	Sarchí Norte	bmh-P, bmh-MB, bh-T, bh-P, bp-MB
	Sarchí Sur	bmh-P, bh-T
	Toro Amarillo	bp-P, bp-MB, bp-M, bmh-MB,
	San Pedro	bmh-MB, bp-MB, bmh-P
	Rodriguez	bmh-MB, bh-P, bmh-P, bh-T
Upala	Upala	bh-T, bmh-P, bp-P, bp-MB, bmh-T
	Aguas Claras	bmh-P, bmh-T, bh-T, bp-P, bp-MB
	San José (Pizote)	bmh-P, bmh-T, bh-T
	Bajaagua	bp-P, bp-MB, bmh-P, bmh-T
	Delicias	bh-T
	Dos Ríos	bmh-P, bmh-T, bp-P, bp-MB, bh-T
	Yolillal	bh-T
Poas	San Pedro	bmh-P
	San Juan	bp-MB, bmh-MB, bp-M, bmh-P
	San Rafael	bmh-P, bmh-MB
	Carrillos	bmh-P, bh-P
	Sabana Redonda	bmh-MB, bmh-P, bp-M, bp-MB
	San Rafael	bmh-P, bmh-T, bp-P, bh-T
Guatuso	Buena Vista	bmh-P, bmh-T, bp-P
	Cote	bp-P, bp-MB, bhm-T, bmh-P
	Grecia	bmh-P, bh-T
Grecia	San Isidro	bp-M, bmh-P
	San José	bmh-MB, bmh-P, bh-T
	San Roque	bmh-MB, bmh-P, bp-MB, bp-M, bh-T
	Tacares	bh-T, bh-P, bmh-P
	Río Cuarto	bmh-P, bmh-T, bp-P, bp-MB
	Puente de Piedra	bh-T, bh-P
	Bolívar	bp-MB, bp-M, bmh-P, bh-T

Nota: Ver **cuadro 3.1** para abreviaturas de las Zonas de Vida según Holdridge.

Cuadro 6.5. Zonas de vida para cada uno de los distritos de Costa Rica (cont.)

Provincia de Cartago					
Cantón	Distrito	Zona de vida	Cantón	Distrito	Zona de vida
Cartago	Oriental	bh-P	La Unión	Tres Ríos	bmh-P
	Occidental	bh-P		San Diego	bmh-MB, bmh-P, bh-MB
	Carmen	bh-P, bh-MB		San Juan	bmh-P
	San Nicolás	bmh-MB, bh-MB, bh-P		San Rafael	bmh-MB, bmh-P, bh-MB
	Aguacaliente	bmh-P, bh-P, bmh-MB, bp-M, bp-MB		Concepción	bmh-MB, bmh-P
	Guadalupe	bh-MB, bh-P		Dulce Nombre	bmh-MB, bmh-P, bh-MB
	Corralillo	bmh-P, bh-MB, bh-P		San Ramón	bmh-MB, bmh-P
	Tierra Blanca	bp-M, bmh-M, bh-MB		Río Azul	bmh-MB, bmh-P, bh-P
	Dulce Nombre	bmh-P, bh-P, bmh-MB, bp-M, bp-MB		San Rafael	bh-MB, bh-P
	Llano Grande	bmh-MB, bp-M, bmh-M, bh-MB		Cot	bh-MB, bh-P
Turrialba	Quebradilla	bmh-MB, bh-MB, bh-P	Oreamuno	Potrero Cerrado	bp-M, bmh-M, bh-MB
	Turrialba	bmh-P, bh-T	Cipreses	bh-MB	
	La Suiza	bmh-P, bp-P, bh-T, bp-M, bp-MB	Santa Rosa	bp-P, bp-MB, bp-M, bmh-MB, bmh-M, bmh-T, bh-MB	
	Peralta	bmh-P, bmh-T, bp-P	Tejar	bh-P	
	Santa Cruz	bp-P, bp-MB, bp-M, bmh-MB, bmh-P	San Isidro	bmh-P, bh-P, bh-MB, bmh-MB, bp-M, bp-MB	
	Santa Teresita	bmh-T, bp-P, bp-MB, bmh-P	Tobosí	bh-P, bh-MB, bmh-MB	
	Pavones	bmh-T, bmh-P, bh-T	Patio de agua	bh-MB, bh-P	
	Tuis	bh-T, bmh-P, bp-P	Paraíso	Paraíso	bmh-P, bh-MB, bh-P
	Tayutic	bp-P, bmh-P, bp-MB	Santiago	bmh-P, bh-MB, bh-P	
	Santa Rosa	bmh-MB, bmh-P	Orosí	bmh-P, bp-P, bh-P, bmh-MB, bp-M, bp-MB	
Alvarado	Tres Equis	bmh-T, bp-P, bmh-P	Jiménez	Cachí	bmh-P, bh-P, bmh-MB, bp-MB
	La Isabel	bmh-P, bmh-T		Llanos de Sta Lucía	bh-P
	Chirripó	bmh-P, bmh-T, bp-P, bp-MB, bmh-MB, bp-M, pp-SA		Juan Viñas	bmh-MB, bmh-P
	Pacayas	bp-M, bmh-MB, bmh-P, bh-MB, bh-P		Tucurrique	bmh-P, bp-P, bp-MB
	Cervantes	bmh-MB, bmh-P, bh-MB, bh-P		Pejibaye	bmh-MB, bmh-P, bp-P, bp-MB, bh-T
	Capellades	bp-MB, bp-M, bmh-MB, bmh-P			

Nota: Ver cuadro 3.1 para abreviaturas de las Zonas de Vida según Holdridge.

Cuadro 6.5. Zonas de vida para cada uno de los distritos de Costa Rica (cont.)

Provincia de Heredia					
Cantón	Distrito	Zona de vida	Cantón	Distrito	Zona de vida
Heredia	Heredia	bmh-P, bh-P	San Isidro	San Isidro	bmh-P
	Mercedes	bmh-P, bh-P		San José	bp-MB, bmh-MB, bmh-P
	San Francisco	bh-P		Concepción	bp-MB, bmh-MB, bmh-P
	Ulloa	bh-P		San Francisco	bmh-P
	Varablanca	bmh-T, bp-P, bp-MB, bmh-MB, bp-M		Puerto Viejo	bmh-P, bmh-T
Barva	Barva	bmh-P	Sarapiquí	La Virgen	bmh-P, bmh-T, bp-MB, bp-P
	San Pedro	bmh-P		Horquetas	bmh-T, bmh-P, bp-MB, bp-P
	San Pablo	bmh-MB, bmh-P		Llanuras del Gaspar	bmh-T
	San Roque	bh-P, bmh-P		Cureña	bmh-T
	Santa Lucía	bh-P, bmh-P		Santa Bárbara	bmh-P
	San José de la Montaña	bp-MB, bmh-MB, bp-M, bmh-P		San Pedro	bmh-P, bh-P
Santo Domingo	Santo Domingo	bh-P	Santa Barbara	San Juan	bmh-P, bh-P
	San Vicente	bh-P, bmh-P		Jesús	bmh-P, bh-P, bmh-MB
	San Miguel	bh-P, bmh-P		Santo Domingo	bp-MB, bmh-MB, bmh-P
	Paracito	bmh-P		Purabá	bmh-P, bmh-MB
	Santo Tomás	bh-P	Flores	San Joaquín	bh-P
	Santa Rosa	bh-P		Barrantes	bh-P, bmh-P
	Tures	bmh-P		Llorente	bh-P
	Pará	bmh-P		San Rafael	bmh-P
Belén	San Antonio	bh-P	San Rafael	San Josecito	bmh-P, bh-p
	Ribera	bh-P		Santiago	bmh-P, bh-p
	Asunción	bh-P		Angeles	bp-MB, bmh-MB, bmh-P
San Pablo	San Pablo	bmh-P, bh-P		Concepción	bp-MB, bmh-MB, bmh-P

Nota: Ver **cuadro 3.1** para abreviaturas de las Zonas de Vida según Holdridge.

Cuadro 6.5. Zonas de vida para cada uno de los distritos de Costa Rica (cont.)

Provincia de Guanacaste					
Cantón	Distrito	Zona de vida	Cantón	Distrito	Zona de vida
Carrillo	Filadelfia	bh-P	Liberia	Liberia	bh-T, bmh-P, bp-P, bp-MB, bs-T, bh-P
	Palmira	bh-P, bs-T		Cañas Dulces	bh-T, bmh-P, bp-P, bp-MB, bs-T, bh-P
	Sardinal	bh-P, bs-T		Mayorga	bh-T, bmh-P, bmh-T, bp-P, bp-MB, bs-T, bh-P
	Belén	bh-P, bs-T		Nacacolo	bs-T, bh-P
Cañas	Cañas	bh-P, bs-T	Nicoya	Curubandé	bh-T, bp-MB, bs-T, bh-P, bmh-P
	Palmira	bh-P, bs-T, bp-P, bp-MB, bh-T, bmh-P		Nicoya	bmh-P, bh-T
	San Miguel	bh-P, bmh-P, bh-T		Mansión	bmh-P, bh-T, bh-P
	Bebedero	bh-P, bs-T		San Antonio	bh-P, bh-T
Tilarán	Porzal	bh-P, bh-T	Santa Cruz	Quebrada Honda	bh-P, bh-T
	Tilarán	bmh-P, bh-P, bh-T		Sámara	bmh-P, bh-T
	Quebrada Grande	bh-P, bp-MB, bp-P, bmh-P, bmh-MB, bh-T		Nosara	bmh-P, bh-T
	Tronadora	bh-P, bmh-P, bp-P, bp-MB		Belén de Nosarita	bmh-P, bh-T
	Santa Rosa	bh-T, bs-T, bh-P		Santa Cruz	bmh-P, bh-T, bh-P, bs-T
	Líbano	bh-T, bmh-P, bh-P, bh-T		Bolsón	bh-P
	Tierras Morenas	bmh-P, bp-P, bh-P, bs-T, bh-T		Veintisiete de Abril	bmh-P, bs-T, bh-P, bh-T
Nandayure	Arenal	bmh-P, bp-P, bmh-T	Abangares	Tempate	bs-T, bh-P
	Carmona	bmh-P, bmh-T, bh-P		Cartagena	bs-T, bh-P
	Santa Rita	bh-T, bh-P		Cuañiquil	bmh-P, bh-T, bh-P
	Zapotal	bmh-P, bh-T		Diriá	bh-P, bh-T
	San Pablo	bh-T, bh-P		Cabo Velas	bs-T, bh-P
	Porvenir	bmh-P, bh-T		Tamarindo	bs-T, bh-P
La Cruz	Bejuco	bmh-P, bh-T, bh-P	Hojancha	Hojancha	bmh-P, bh-T
	La Cruz	bmh-P, bs-T, bh-P		Monte Romo	bmh-P, bh-T
	Santa Cecilia	bh-T, bmh-P, bp-P, bp-MB, bmh-T		Puerto Carrillo	bmh-P, bh-T
	Garita	bh-T, bmh-P, bp-P, bp-MB, bmh-T		Huacas	bmh-P, bh-T
Bagaces	Santa Elena	bh-T, bmh-P, bp-P, bp-MB, bh-P, bs-T	Abangares	Juntas	bmh-P, bh-T, bh-P
	Bagaces	bh-T, bh-P, bs-T		Sierra	bmh-MB, bh-T, bh-P, bmh-P
	Fortuna	bmh-P, bp-P, bp-MB, bs-T, bh-P		San Juan	bh-T, bh-P
	Mogote	bh-T, bmh-P, bh-P, bs-T		Colorado	bh-T, bh-P, bs-T
	Río Naranjo	bmh-P, bh-P, bh-T, bp-MB, bp-P			

Nota: Ver **cuadro 3.1** para abreviaturas de las Zonas de Vida según Holdridge.

Cuadro 6.5. Zonas de vida para cada uno de los distritos de Costa Rica (cont.)

Provincia de Puntarenas					
Cantón	Distrito	Zona de vida	Canton	Distrito	Zona de vida
Puntarenas	Puntarenas	bs-T, bh-T, bh-P	Montes de Oro	Miramar	bmh-P, bp-MB, bmh-MB, bh-T, bh-P
	Pitahaya	bh-T, bh-P		Unión	bmh-P, bh-T
	Chomes	bh-T, bs-T, bh-P		San Isidro	bmh-P, bh-T, bmh-MB, bp-MB, bp-P
	Lepanto	bmh-P, bh-T, bh-P		Puerto Cortés	bmh-T, bp-P, bp-MB, bp-P, bmh-P
	Paquera	bmh-P, bh-P, bh-T,	Osa	Palmar	bmh-P, bh-T, bmh-T
	Manzanillo	bh-P, bs-T		Sierpe	bh-T, bmh-P
	Guacimal	bh-T, bmh-P, bp-MB, bh-P, bmh-MB		Bahía Ballena	bp-P, bmh-P, bmh-T
	Barranca	bh-T, bh-P		Piedras Blancas	bmh-T, bp-P, bp-MB
	Monteverde	bmh-P, bp-MB, bh-P, bmh-MB, bh-T		Golfito	bp-P, bmh-T, bh-T, bmh-P
	Isla del Coco	bp-P		Puerto Jiménez	bmh-T, bh-T, bmh-P
	Cóbano	bmh-P	Guayacará	bp-P, bp-MB, bmh-T, bh-T, bmh-P	
	Chacarita	bh-P	Pavón	bmh-T, bh-T, bmh-P	
	Chira	bs-T	Coto Brus	San Vito	bp-P, bmh-P
	Acapulco	bh-T, bmh-P, bmh-MB, bh-P		Sabalito	bp-MB, bp-M, bmh-MB, bmh-P
El Roble	bh-P, bh-T	Aguabuena		bmh-P, bp-P, bmh-T	
Arancibia	bh-T, bmh-P, bp-MB, bmh-MB,	Limoncito		bmh-P, bmh-T, bp-P, bp-MB	
Aguirre	Quepos	bp-P, bmh-T, bmh-P, bh-T	Garabito	Pittier	bp-M, bh-T, bmh-P, bmh-MB, bmh-T, bp-MB
	Savegre	bmh-T, bmh-P		Jacó	bmh-P, bh-T, bmh-T
	Naranjito	bp-P, bmh-T, bmh-P		Tárcoles	bmh-T, bmh-P, bh-T, bs-T, bh-P
Esparza	Espiritu Santo	bh-P, bh-T		Buenos Aires	Buenos Aires
	San Juan Grande	bh-P, bh-T, bs-T	Volcán		bp-M, bmh-P, bmh-T, bp-P, bp-MB, bh-T
	Macacona	bmh-P, bh-T	Potrero Grande		bp-M, bmh-P, bmh-T, bp-P, bp-MB, bh-T
	San Rafael	bmh-P, bh-T	Boruca		bmh-P, bh-T, bmh-P
	San Jerónimo	bmh-P, bmh-MB, bh-T	Pílas		bh-T, bh-P, bmh-P
Parrita	Parrita	bp-P, bp-MB, bmh-T, bh-T, bmh-P	Colinas		bmh-P, bh-T, bmh-T
	Corredor	bp-P, bmh-T, bh-T, bmh-P	Changuena		bp-MB, bmh-P, bmh-T, bh-T, bp-P
Corredores	La Cuesta	bmh-P	Biolley		bp-M, bh-T, bmh-P, bmh-MB, bp-P, bp-MB
	Canoas	bmh-T, bmh-P	Brunka		bp-M, bmh-P, bmh-T, bh-T, bp-P, bp-MB
	Laurel	bmh-T, bmh-P, bh-T			

Nota: Ver **cuadro 3.1** para abreviaturas de las Zonas de Vida según Holdridge.

Cuadro 6.5. Zonas de vida para cada uno de los distritos de Costa Rica (cont.)

Provincia de Limón		
Cantón	Distrito	Zona de vida
Limón	Limon	bmh-P
	Valle de la Estrella	bmh-P, bmh-T, bh-T, bp-P, bp-M, pp-SA, bp-MB
	Río Blanco	bmh-P, bmh-T
	Matama	bmh-P, bmh-T, bp-P, bh-T, bp-MB
Pococí	Guápiles	bp-P, bmh-T, bmh-P
	Jiménez	bmh-P, bmh-T, bp-P, bp-MB
	Rita	bmh-P, bmh-T
	Roxana	bmh-P, bmh-T
	Cariari	bmh-T, bmh-P
Siquirres	Colorado	bmh-T, bp-P
	Siquirres	bmh-P, bmh-T
	Pacuarito	bmh-T, bmh-P, bp-P
	Florida	bmh-P, bmh-T, bp-P, bp-MB
	Germania	bmh-P
	Cairo	bmh-P, bmh-T
Talamanca	Alegria	bmh-P, bmh-T
	Bratsi	bmh-P, bmh-T, bp-P, bh-T
	Sixaola	bh-T
	Cahuita	bmh-P, bh-T
Matina	Telire	bmh-P, bmh-T, bp-P, bh-T, bp-MB, bp-M, pp-SA
	Matina	bmh-P
	Batán	bmh-P, bmh-T, bh-T
Guácimo	Carrandi	bmh-P, bmh-T, bh-T, bp-P, bp-MB
	Guácimo	bmh-P, bmh-T, bp-P, bp-MB
	Meredes	bmh-P, bmh-T, bp-P, bp-MB
	Pocora	bmh-P, bmh-T, bp-P, bp-MB
	Río Jiménez	bmh-P, bmh-T
	Duacaré	bmh-P, bmh-T

Nota: Ver **cuadro 3.1** para abreviaturas de las Zonas de Vida según Holdridge.

Cuadro 6.6. Especies seleccionadas y ubicadas por zona de vida

Bosque Húmedo Montano Bajo (bh-MB)		
Tipo de planta	Nombre común	Nombre científico
Árbol	Anona	<i>Annona cherimola</i>
Árbol	Cuajiniquil Peludo	<i>Inga oerstediana</i>
Árbol	Aguacate	<i>Persea americana</i>
Árbol	Zapote, Sapadilla	<i>Manilkara zapota</i>
Trepadora	Bejuco	<i>Cissus biformifolia</i>

Bosque Muy Húmedo Montano Bajo (bmh-MB)		
Tipo de planta	Nombre común	Nombre científico
Árbol	Anona	<i>Annona cherimola</i>
Rastrera	Centrosema	<i>Centrosema pubescens</i>
Árbol	Fresno Mexicano	<i>Fraxinus uhdei</i>
Árbol	Guácimo	<i>Guazuma ulmifolia</i>
Hierba	Sombrilla de Pobre	<i>Gunnera insignis</i>
Hierba	Pasto Estrella	<i>Hypoxis decumbens</i>
Árbol	Guaba de Caite	<i>Inga densiflora</i>
Árbol	Cuajiniquil Peludo	<i>Inga oerstediana</i>
Hierba	Lobelia, Caragallo	<i>Lobelia laxiflora</i>
Árbol	Macadamia	<i>Macadamia integrifolia</i>
Árbol	Amapola	<i>Malvaviscus arboreus</i>
Trepadora	Mano de Tigre	<i>Monstera deliciosa</i>
Pasto	Zacate Boliviano	<i>Panicum polygonatum</i>
Pasto	Zacate Amargo	<i>Paspalum conjugatum</i>
Pasto	Pasto Elefante	<i>Pennisetum purpureum</i>
Árbol	Aguacate	<i>Persea americana</i>
Árbol	Guayabo	<i>Psidium guajava</i>
Hierba	Escobilla	<i>Sida rhombifolia</i>

Bosque Pluvial Montano (bp-M)		
Tipo de planta	Nombre común	Nombre científico
Árbol	Guaitil, Jagua	<i>Genipa americana</i>
Hierba	Pasto Estrella	<i>Hypoxis decumbens</i>
Trepadora	Mano de Tigre	<i>Monstera deliciosa</i>
Hierba	Lobelia, Caragallo	<i>Lobelia laxiflora</i>
Hierba	Sombrilla de Pobre	<i>Gunnera insignis</i>

Cuadro 6.6. Especies seleccionadas y ubicadas por zona de vida (cont.)

Bosque Húmedo Premontano (bh-P)		
Tipo de planta	Nombre común	Nombre científico
Arbusto	Aromo	Acacia farnesiana
Árbol	Coyol	Acrocomia aculeata
Árbol	Espavel	Anacardium excelsum
Árbol	Marañón	Anacardium occidentale
Árbol	Anona	Annona cherimola
Árbol	Guanabana	Annona muricata
Arbusto	Achiote	Bixa orellana
Árbol	Pochote	Bombacopsis quinata
Hierba	Piñuela	Bromelia pinguin
Árbol	Nancite	Byrsonima crassifolia
Arbusto	Calístemon	Callistemon viminalis
Árbol	Papaya	Carica papaya
Árbol	Carao Amarillo	Cassia moschata
Árbol	Cedro Amargo	Cedrela odorata
Árbol	Cedro Bateo	Cedrela salvadorensis
Trepadora	Gallinita	Centrosema plumieri
Rastrera	Centrosema	Centrosema pubescens
Árbol	Caimito	Chrysophyllum cainito
Trepadora	Bejuco	Cissus biformifolia
Árbol	Laurel	Cordia alliodora
Árbol	Jicarito	Crescentia alata
Árbol	Jícaro	Crescentia cujete
Pasto	Pasto Bermuda	Cynodon dactylon
Hierba	Junco de Agua	Cyperus ligularis
Rastrera	Trebolillo	Desmodium triflorum
Árbol	Guanacaste	Enterolobium cyclocarpum
Árbol	Níspero Japonés	Eriobotrya japonica
Árbol	Poró Blanco	Erythrina fusca
Árbol	Eucalipto	Eucalyptus saligna
Hierba	Pasto Estrella	Hypoxis decumbens
Árbol	Guaitil, Jagua	Genipa americana
Árbol	Madero Negro	Gliricidia sepium
Árbol	Gravilia	Grevillea robusta
Árbol	Guayacán real	Guaiacum sanctum
Árbol	Guácimo	Guazuma ulmifolia
Árbol	Jabillo o Javillo	Hura crepitans
Árbol	Guapinol	Hymenaea courbaril
Hierba	Pasto Estrella	Hypoxis decumbens
Hierba	Coquita	Hyptis capitata
Árbol	Guaba de Caite	Inga densiflora

Cuadro 6.6. Especies seleccionadas y ubicadas por zona de vida (cont.)

Bosque Húmedo Premontano (bh-P) (cont.)		
Tipo de planta	Nombre común	Nombre científico
Hierba	Lobelia, Caragallo	Lobelia laxiflora
Árbol	Macadamia	Macadamia integrifolia
Árbol	Mora	Maclura tinctoria
Árbol	Amapola	Malvaviscus arboreus
Árbol	Mango	Mangifera indica
Árbol	Zapote, Sapadilla	Manilkara zapota
Árbol	Corcho Australiano	Melaleuca quinquenervia
Árbol	Mamón	Melicoccus bijugatus
Árbol	Capulín de Comer	Muntingia calabura
Arbusto	Arco o Palo de Arco	Myrospermum frutescens
Árbol	Balsa o Balso	Ochroma pyramidale
Pasto	Pasto Guinea	Panicum maximum
Pasto	Zacate Ilusión	Panicum trichoides
Árbol	Palo Verde	Parkinsonia aculeata
Pasto	Zacate Amargo	Paspalum conjugatum
Pasto	Zacate cabezón	Paspalum paniculatum
Pasto	Pasto Negro	Paspalum plicatulum
Pasto	Zacatón	Paspalum virgatum
Pasto	Pasto Elefante	Pennisetum purpureum
Hierba	Santa María Negra	Piper aduncum
Árbol	Michigüiste	Pithecellobium unguis-cati
Árbol	Juche	Plumeria rubra
Árbol	Mostrenco	Prosopis juliflora
Árbol	Ceibo Barrigón	Pseudobombax septenatum
Árbol	Guayaquil	Pseudosamanea guachapele
Árbol	Guayabo	Psidium guajava
Árbol	Cenízaro	Samanea saman
Árbol	Jaboncillo	Sapindus saponaria
Hierba	Escobilla	Sida rhombifolia
Árbol	Jobo	Spondias mombin
Árbol	Roble Sabana	Tabebuia rosea
Árbol	Teca	Tectona grandis
Árbol	Sotacaballo	Zygia longifolia
Árbol	Cuajiniquill Peludo	Inga oerstediana
Arbusto	Jacaranda	Jacaranda mimosifolia
Trepadora	Frijol Trepador	Lablab purpureus
Arbusto	Leucaena	Leucaena leucocephala
Árbol	Liquidámbar	Liquidambar styraciflua

Cuadro 6.6. Especies seleccionadas y ubicadas por zona de vida (cont.)

Bosque Pluvial Montano Bajo (bp-MB)		
Tipo de planta	Nombre común	Nombre científico
Árbol	Carboncillo	<i>Albizia carbonaria</i>
Árbol	Espavel	<i>Anacardium excelsum</i>
Árbol	Marañón	<i>Anacardium occidentale</i>
Árbol	Anona	<i>Annona cherimola</i>
Arbusto	Achiote	<i>Bixa orellana</i>
Árbol	Nancite	<i>Byrsonima crassifolia</i>
Árbol	Papaya	<i>Carica papaya</i>
Trepadora	Bejuco	<i>Cissus biformifolia</i>
Árbol	Níspero Japonés	<i>Eriobotrya japonica</i>
Árbol	Madero Negro	<i>Gliricidia sepium</i>
Árbol	Gravilia	<i>Grevillea robusta</i>
Hierba	Sombrilla de Pobre	<i>Gunnera insignis</i>
Hierba	*Pasto Estrella	<i>Hypoxis decumbens</i>
Hierba	Coquita	<i>Hyptis capitata</i>
Árbol	Guaba de Caite	<i>Inga densiflora</i>
Árbol	Cuajiniquil Peludo	<i>Inga oerstediana</i>
Árbol	Amapola	<i>Malvaviscus arboreus</i>
Árbol	Zapote, Sapadilla	<i>Manilkara zapota</i>
Trepadora	Mano de Tigre	<i>Monstera deliciosa</i>
Árbol	Capulín de Comer	<i>Muntingia calabura</i>
Pasto	Zacate Boliviano	<i>Panicum polygonatum</i>
Pasto	Zacate Amargo	<i>Paspalum conjugatum</i>
Pasto	Pasto Negro	<i>Paspalum plicatulum</i>
Pasto	Zacatón	<i>Paspalum virgatum</i>
Pasto	Pasto Elefante	<i>Pennisetum purpureum</i>
Árbol	Aguacate	<i>Persea americana</i>
Hierba	Santa María Negra	<i>Piper aduncum</i>
Árbol	Guayabo	<i>Psidium guajava</i>
Hierba	Escobilla	<i>Sida rhombifolia</i>
Árbol	Roble Sabana	<i>Tabebuia rosea</i>

Cuadro 6.6. Especies seleccionadas y ubicadas por zona de vida (cont.)

Bosque Húmedo Tropical (bh-T)		
Tipo de planta	Nombre común	Nombre científico
Arbusto	Aromo	Acacia farnesiana
Árbol	Coyol	Acrocomia aculeata
Árbol	Espavel	Anacardium excelsum
Árbol	Marañón	Anacardium occidentale
Árbol	Guanabana	Annona muricata
Arbusto	Achiote	Bixa orellana
Árbol	Pochote	Bombacopsis quinata
Hierba	Piñuela	Bromelia pinguin
Árbol	Nancite	Byrsonima crassifolia
Hierba	Bijagua blanca	Calathea lutea
Árbol	Ilán-Ilán	Cananga odorata
Árbol	Papaya	Carica papaya
Árbol	Carao Amarillo	Cassia moschata
Árbol	Cedro Amargo	Cedrela odorata
Árbol	Cedro Bateo	Cedrela salvadorensis
Trepadora	Gallinita	Centrosema plumieri
Rastrera	Centrosema	Centrosema pubescens
Árbol	Caimito	Chrysophyllum cainito
Trepadora	Bejuco	Cissus biformifolia
Árbol	Ojoche Colorado	Clarisia racemosa
Árbol	Laurel	Cordia alliodora
Árbol	Jicarito	Crescentia alata
Árbol	Jícaro	Crescentia cujete
Pasto	Pasto Bermuda	Cynodon dactylon
Hierba	Junco de Agua	Cyperus ligularis
Rastrera	Trebolillo	Desmodium triflorum
Árbol	Guanacaste	Enterolobium cyclocarpum
Árbol	Poró Blanco	Erythrina fusca
Árbol	Guaitil, Jagua	Genipa americana
Árbol	Madero Negro	Gliricidia sepium
Árbol	Guayacán real	Guaiaacum sanctum
Árbol	Guácimo	Guazuma ulmifolia
Árbol	Jabillo o Javillo	Hura crepitans
Árbol	Guapinol	Hymenaea courbaril
Hierba	Coquita	Hyptis capitata
Árbol	Guaba de Caite	Inga densiflora
Arbusto	Leucaena	Leucaena leucocephala
Hierba	Lobelia, Caragallo	Lobelia laxiflora
Árbol	Macadamia	Macadamia integrifolia
Árbol	Mora	Maclura tinctoria

Cuadro 6.6. Especies seleccionadas y ubicadas por zona de vida (cont.)

Bosque Húmedo Tropical (bh-T) (cont.)		
Tipo de planta	Nombre común	Nombre científico
Árbol	Mamón	Melicoccus bijugatus
Árbol	Capulín de Comer	Muntingia calabura
Arbusto	Arco o Palo de Arco	Myrospermum frutescens
Árbol	Balsa o Balso	Ochroma pyramidale
Pasto	Pasto Guinea	Panicum maximum
Pasto	Zacate Boliviano	Panicum polygonatum
Pasto	Zacate Ilusión	Panicum trichoides
Árbol	Palo Verde	Parkinsonia aculeata
Pasto	Zacate Amargo	Paspalum conjugatum
Pasto	Zacate cabezón	Paspalum paniculatum
Pasto	Pasto Negro	Paspalum plicatulum
Pasto	Zacatón	Paspalum virgatum
Pasto	Pasto Elefante	Pennisetum purpureum
Árbol	Aguacate	Persea americana
Hierba	Santa María Negra	Piper aduncum
Árbol	Cojoba Arborea	Pithecellobium arboreum
Árbol	Juche	Plumeria rubra
Árbol	Mostrenco	Prosopis juliflora
Árbol	Ceibo Barrigón	Pseudobombax septenatum
Árbol	Guayaquil	Pseudosamanea guachapele
Árbol	Cenízaro	Samanea saman
Árbol	Jaboncillo	Sapindus saponaria
Árbol	Gallinazo	Schizolobium parahyba
Hierba	Escobilla	Sida rhombifolia
Árbol	Jobo	Spondias mombin
Árbol	Corteza Amarilla	Tabebuia chrysantha
Árbol	Roble Sabana	Tabebuia rosea
Árbol	Teca	Tectona grandis
Árbol	Cacao	Theobroma cacao
Árbol	Sotacaballo	Zygia longifolia
Árbol	Amapola	Malvaviscus arboreus
Árbol	Mamey	Mammea americana
Árbol	Mango	Mangifera indica
Árbol	Zapote, Sapadilla	Manilkara zapota

Cuadro 6.6. Especies seleccionadas y ubicadas por zona de vida (cont.)

Bosque Muy Húmedo Premontano (bmh-P)		
Tipo de planta	Nombre común	Nombre científico
Arbusto	Aromo	Acacia farnesiana
Árbol	Coyol	Acrocomia aculeata
Árbol	Carboncillo	Albizia carbonaria
Árbol	Espavel	Anacardium excelsum
Árbol	Marañón	Anacardium occidentale
Árbol	Anona	Annona cherimola
Árbol	Guanabana	Annona muricata
Árbol	Fruta de Pan	Artocarpus altilis
Árbol	Jack-fruit	Artocarpus heterophyllus
Arbusto	Achiote	Bixa orellana
Árbol	Pochote	Bombacopsis quinata
Hierba	Piñuela	Bromelia pinguin
Árbol	Nancite	Byrsonima crassifolia
Arbusto	Gandul	Cajanus cajan
Hierba	Bijagua blanca	Calathea lutea
Árbol	Ilán-Ilán	Cananga odorata
Árbol	Papaya	Carica papaya
Árbol	Carao Amarillo	Cassia moschata
Árbol	Cedro Amargo	Cedrela odorata
Árbol	Cedro Bateo	Cedrela salvadorensis
Trepadora	Gallinita	Centrosema plumieri
Rastrera	Centrosema	Centrosema pubescens
Árbol	Tabacón	Cespedesia macrophylla
Árbol	Caimito	Chrysophyllum cainito
Trepadora	Bejuco	Cissus biformifolia
Árbol	Ojoche Colorado	Clarisia racemosa
Árbol	Laurel	Cordia alliodora
Árbol	Jícara	Crescentia cujete
Pasto	Pasto Bermuda	Cynodon dactylon
Hierba	Junco de Agua	Cyperus ligularis
Rastrera	Trebolillo	Desmodium triflorum
Árbol	Guanacaste	Enterolobium cyclocarpum
Árbol	Poró Africano	Erythrina abyssinica
Árbol	Poró Blanco	Erythrina fusca
Árbol	Eucalipto	Eucalyptus saligna
Árbol	Fresno Mexicano	Fraxinus uhdei
Árbol	Guaitil, Jagua	Genipa americana
Árbol	Madero Negro	Gliricidia sepium
Árbol	Melina	Gmelina arborea
Árbol	Gravilia	Grevillea robusta
Árbol	Guayacán real	Guaiacum sanctum

Cuadro 6.6. Especies seleccionadas y ubicadas por zona de vida (cont.)

Bosque Muy Húmedo Premontano (bmh-P) (cont.)		
Tipo de planta	Nombre común	Nombre científico
Árbol	Guapinol	<i>Hymenaea courbaril</i>
Hierba	Pasto Estrella	<i>Hypoxis decumbens</i>
Hierba	Coquita	<i>Hyptis capitata</i>
Árbol	Guaba de Caite	<i>Inga densiflora</i>
Árbol	Cuajiniquil Peludo	<i>Inga oerstediana</i>
Árbol	Guaba	<i>Inga skutchii</i>
Trepadora	Frijol Trepador	<i>Lablab purpureus</i>
Arbusto	Leucaena	<i>Leucaena leucocephala</i>
Árbol	Liquidámbar	<i>Liquidambar styraciflua</i>
Hierba	Lobelia, Caragallo	<i>Lobelia laxiflora</i>
Árbol	Mora	<i>Maclura tinctoria</i>
Árbol	Amapola	<i>Malvaviscus arboreus</i>
Árbol	Mango	<i>Mangifera indica</i>
Árbol	Zapote, Sapadilla	<i>Manilkara zapota</i>
Árbol	Corcho Australiano	<i>Melaleuca quinquenervia</i>
Trepadora	Mano de Tigre	<i>Monstera deliciosa</i>
Árbol	Capulín de Comer	<i>Muntingia calabura</i>
Árbol	Balsa o Balso	<i>Ochroma pyramidale</i>
Pasto	Pasto Guinea	<i>Panicum maximum</i>
Pasto	Zacate Boliviano	<i>Panicum polygonatum</i>
Pasto	Zacate Ilusión	<i>Panicum trichoides</i>
Pasto	Zacate Amargo	<i>Paspalum conjugatum</i>
Pasto	Zacate cabezón	<i>Paspalum paniculatum</i>
Pasto	Pasto Negro	<i>Paspalum plicatulum</i>
Pasto	Zacatón	<i>Paspalum virgatum</i>
Pasto	Pasto Elefante	<i>Pennisetum purpureum</i>
Árbol	Aguacate	<i>Persea americana</i>
Hierba	Santa María Negra	<i>Piper aduncum</i>
Árbol	Juche	<i>Plumeria rubra</i>
Árbol	Ceiba Barrigón	<i>Pseudobombax septenatum</i>
Árbol	Guayabo	<i>Psidium guajava</i>
Árbol	Cenízaro	<i>Samanea saman</i>
Árbol	Jaboncillo	<i>Sapindus saponaria</i>
Árbol	Gallinazo	<i>Schizolobium parahyba</i>
Hierba	Escobilla	<i>Sida rhombifolia</i>
Árbol	Jobo	<i>Spondias mombin</i>
Árbol	Corteza Amarilla	<i>Tabebuia chrysantha</i>
Árbol	Roble Sabana	<i>Tabebuia rosea</i>
Árbol	Teca	<i>Tectona grandis</i>
Árbol	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>
Árbol	Sotacaballo	<i>Zygia longifolia</i>
Árbol	Hule	<i>Hevea brasiliensis</i>
Árbol	Jabillo o Javillo	<i>Hura crepitans</i>

Cuadro 6.6. Especies seleccionadas y ubicadas por zona de vida (cont.)

Bosque Muy Húmedo Tropical (bmh-T)		
Tipo de planta	Nombre común	Nombre científico
Árbol	Coyol	<i>Acrocomia aculeata</i>
Árbol	Carboncillo	<i>Albizia carbonaria</i>
Árbol	Espavel	<i>Anacardium excelsum</i>
Árbol	Marañón	<i>Anacardium occidentale</i>
Árbol	Guanabana	<i>Annona muricata</i>
Árbol	Fruta de Pan	<i>Artocarpus altilis</i>
Árbol	Jack-fruit	<i>Artocarpus heterophyllus</i>
Arbusto	Achiote	<i>Bixa orellana</i>
Hierba	Piñuela	<i>Bromelia pinguin</i>
Árbol	Nancite	<i>Byrsonima crassifolia</i>
Hierba	Bijagua blanca	<i>Calathea lutea</i>
Árbol	Ilán-Ilán	<i>Cananga odorata</i>
Árbol	Papaya	<i>Carica papaya</i>
Árbol	Cedro Amargo	<i>Cedrela odorata</i>
Trepadora	Gallinita	<i>Centrosema plumieri</i>
Rastrera	Centrosema	<i>Centrosema pubescens</i>
Árbol	Tabacón	<i>Cespedesia macrophylla</i>
Árbol	Caimito	<i>Chrysophyllum cainito</i>
Trepadora	Bejuco	<i>Cissus biformifolia</i>
Árbol	Ojoche Colorado	<i>Clarisia racemosa</i>
Árbol	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>
Árbol	Jícaro	<i>Crescentia cujete</i>
Hierba	Junco de Agua	<i>Cyperus ligularis</i>
Rastrera	Trebolillo	<i>Desmodium triflorum</i>
Árbol	Guanacaste	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>
Árbol	Poró Blanco	<i>Erythrina fusca</i>
Árbol	Guaitil, Jagua	<i>Genipa americana</i>
Árbol	Madero Negro	<i>Gliricidia sepium</i>
Árbol	Melina	<i>Gmelina arborea</i>
Árbol	Guácimo	<i>Guazuma ulmifolia</i>
Árbol	Hule	<i>Hevea brasiliensis</i>
Árbol	Jabillo o Javillo	<i>Hura crepitans</i>
Árbol	Guapinol	<i>Hymenaea courbaril</i>
Hierba	Coquita	<i>Hyptis capitata</i>
Árbol	Guaba de Caite	<i>Inga densiflora</i>
Árbol	Cuajiniquil Peludo	<i>Inga oerstediana</i>
Árbol	Guaba	<i>Inga skutchii</i>
Árbol	Mora	<i>Maclura tinctoria</i>
Árbol	Amapola	<i>Malvaviscus arboreus</i>

Cuadro 6.6. Especies seleccionadas y ubicadas por zona de vida (cont.)

Bosque Muy Húmedo Tropical (bmh-T) (cont.)		
Tipo de planta	Nombre común	Nombre científico
Árbol	Balsa o Balso	<i>Ochroma pyramidale</i>
Pasto	Pasto Guinea	<i>Panicum maximum</i>
Pasto	Zacate Boliviano	<i>Panicum polygonatum</i>
Pasto	Zacate Ilusión	<i>Panicum trichoides</i>
Pasto	Zacate Amargo	<i>Paspalum conjugatum</i>
Pasto	Zacate cabezón	<i>Paspalum paniculatum</i>
Pasto	Pasto Negro	<i>Paspalum plicatulum</i>
Pasto	Zacatón	<i>Paspalum virgatum</i>
Pasto	Pasto Elefante	<i>Pennisetum purpureum</i>
Árbol	Aguacate	<i>Persea americana</i>
Hierba	Santa María Negra	<i>Piper aduncum</i>
Árbol	Cojoba Arborea	<i>Pithecellobium arboreum</i>
Árbol	Juche	<i>Plumeria rubra</i>
Árbol	Ceibo Barrigón	<i>Pseudobombax septenatum</i>
Árbol	Guayaquil	<i>Pseudosamanea guachapele</i>
Árbol	Guayabo	<i>Psidium guajava</i>
Árbol	Cenízaro	<i>Samanea saman</i>
Árbol	Jaboncillo	<i>Sapindus saponaria</i>
Hierba	Escobilla	<i>Sida rhombifolia</i>
Árbol	Jobo	<i>Spondias mombin</i>
Árbol	Corteza Amarilla	<i>Tabebuia chrysantha</i>
Árbol	Roble Sabana	<i>Tabebuia rosea</i>
Árbol	Teca	<i>Tectona grandis</i>
Árbol	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>
Árbol	Sotacaballo	<i>Zygia longifolia</i>
Árbol	Mamey	<i>Mammea americana</i>
Árbol	Mango	<i>Mangifera indica</i>
Árbol	Zapote, Sapadilla	<i>Manilkara zapota</i>
Trepadora	Mano de Tigre	<i>Monstera deliciosa</i>
Árbol	Capulín de Comer	<i>Muntingia calabura</i>

Cuadro 6.6. Especies seleccionadas y ubicadas por zona de vida (cont.)

Bosque Pluvial Premontano (bp-P)		
Tipo de planta	Nombre común	Nombre científico
Árbol	Nancite	<i>Byrsonima crassifolia</i>
Arbusto	Aripin	<i>Caesalpinia velutina</i>
Hierba	Bijagua blanca	<i>Calathea lutea</i>
Árbol	Cedro Amargo	<i>Cedrela odorata</i>
Trepadora	Gallinita	<i>Centrosema plumieri</i>
Árbol	Tabacón	<i>Cespedesia macrophylla</i>
Trepadora	Bejuco	<i>Cissus biformifolia</i>
Árbol	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>
Árbol	Jícara	<i>Crescentia cujete</i>
Árbol	Guanacaste	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>
Árbol	Guaitil, Jagua	<i>Genipa americana</i>
Árbol	Madero Negro	<i>Gliricidia sepium</i>
Hierba	Sombrilla de Pobre	<i>Gunnera insignis</i>
Hierba	Pasto Estrella	<i>Hypoxis decumbens</i>
Hierba	Coquita	<i>Hyptis capitata</i>
Árbol	Guaba de Caite	<i>Inga densiflora</i>
Árbol	Cuajiniquil Peludo	<i>Inga oerstediana</i>
Árbol	Guaba	<i>Inga skutchii</i>
Hierba	Lobelia, Caragallo	<i>Lobelia laxiflora</i>
Árbol	Amapola	<i>Malvaviscus arboreus</i>
Árbol	Mamey	<i>Mammea americana</i>
Árbol	Mango	<i>Mangifera indica</i>
Trepadora	Mano de Tigre	<i>Monstera deliciosa</i>
Árbol	Balsa o Balso	<i>Ochroma pyramidale</i>
Pasto	Zacate Boliviano	<i>Panicum polygonatum</i>
Pasto	Zacate Ilusión	<i>Panicum trichoides</i>
Pasto	Zacate Amargo	<i>Paspalum conjugatum</i>
Pasto	Zacate cabezón	<i>Paspalum paniculatum</i>
Pasto	Pasto Elefante	<i>Pennisetum purpureum</i>
Árbol	Aguacate	<i>Persea americana</i>
Árbol	Cojoba Arborea	<i>Pithecellobium arboreum</i>
Árbol	Guayabo	<i>Psidium guajava</i>
Árbol	Cenízaro	<i>Samanea saman</i>
Árbol	Jaboncillo	<i>Sapindus saponaria</i>
Hierba	Escobilla	<i>Sida rhombifolia</i>
Árbol	Corteza Amarilla	<i>Tabebuia chrysantha</i>
Árbol	Sotacaballo	<i>Zygia longifolia</i>

Cuadro 6.6. Especies seleccionadas y ubicadas por zona de vida (cont.)

Bosque Seco Tropical (bs-T)		
Tipo de planta	Nombre común	Nombre científico
Arbusto	Aromo	<i>Acacia farnesiana</i>
Árbol	Coyol	<i>Acrocomia aculeata</i>
Árbol	Espavel	<i>Anacardium excelsum</i>
Árbol	Marañón	<i>Anacardium occidentale</i>
Hierba	Piñuela	<i>Bromelia pinguin</i>
Árbol	Nancite	<i>Byrsonima crassifolia</i>
Árbol	Papaya	<i>Carica papaya</i>
Trepadora	Gallinita	<i>Centrosema plumieri</i>
Árbol	Jicarito	<i>Crescentia alata</i>
Árbol	Jícara	<i>Crescentia cujete</i>
Pasto	Pasto Bermuda	<i>Cynodon dactylon</i>
Rastrera	Trebolillo	<i>Desmodium triflorum</i>
Árbol	Guanacaste	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>
Árbol	Guaitil, Jagua	<i>Genipa americana</i>
Árbol	Madero Negro	<i>Gliricidia sepium</i>
Árbol	Guayacán real	<i>Guaiacum sanctum</i>
Árbol	Guácimo	<i>Guazuma ulmifolia</i>
Árbol	Jabillo o Javillo	<i>Hura crepitans</i>
Árbol	Guapinol	<i>Hymenaea courbaril</i>
Hierba	Coquita	<i>Hyptis capitata</i>
Árbol	Mora	<i>Maclura tinctoria</i>
Árbol	Amapola	<i>Malvaviscus arboreus</i>
Árbol	Capulín de Comer	<i>Muntingia calabura</i>
Arbusto	Arco o Palo de Arco	<i>Myrospermum frutescens</i>
Pasto	Zacate Ilusión	<i>Panicum trichoides</i>
Pasto	Zacate cabezón	<i>Paspalum paniculatum</i>
Pasto	Pasto Negro	<i>Paspalum plicatulum</i>
Árbol	Aguacate	<i>Persea americana</i>
Árbol	Michigüiste	<i>Pithecellobium unguis-cati</i>
Árbol	Juche	<i>Plumeria rubra</i>
Árbol	Mostrenco	<i>Prosopis juliflora</i>
Árbol	Cenízaro	<i>Samanea saman</i>
Árbol	Jaboncillo	<i>Sapindus saponaria</i>
Árbol	Gallinazo	<i>Schizolobium parahyba</i>
Hierba	Escobilla	<i>Sida rhombifolia</i>
Árbol	Jobo	<i>Spondias mombin</i>
Árbol	Roble Sabana	<i>Tabebuia rosea</i>
Árbol	Sotacaballo	<i>Zygia longifolia</i>

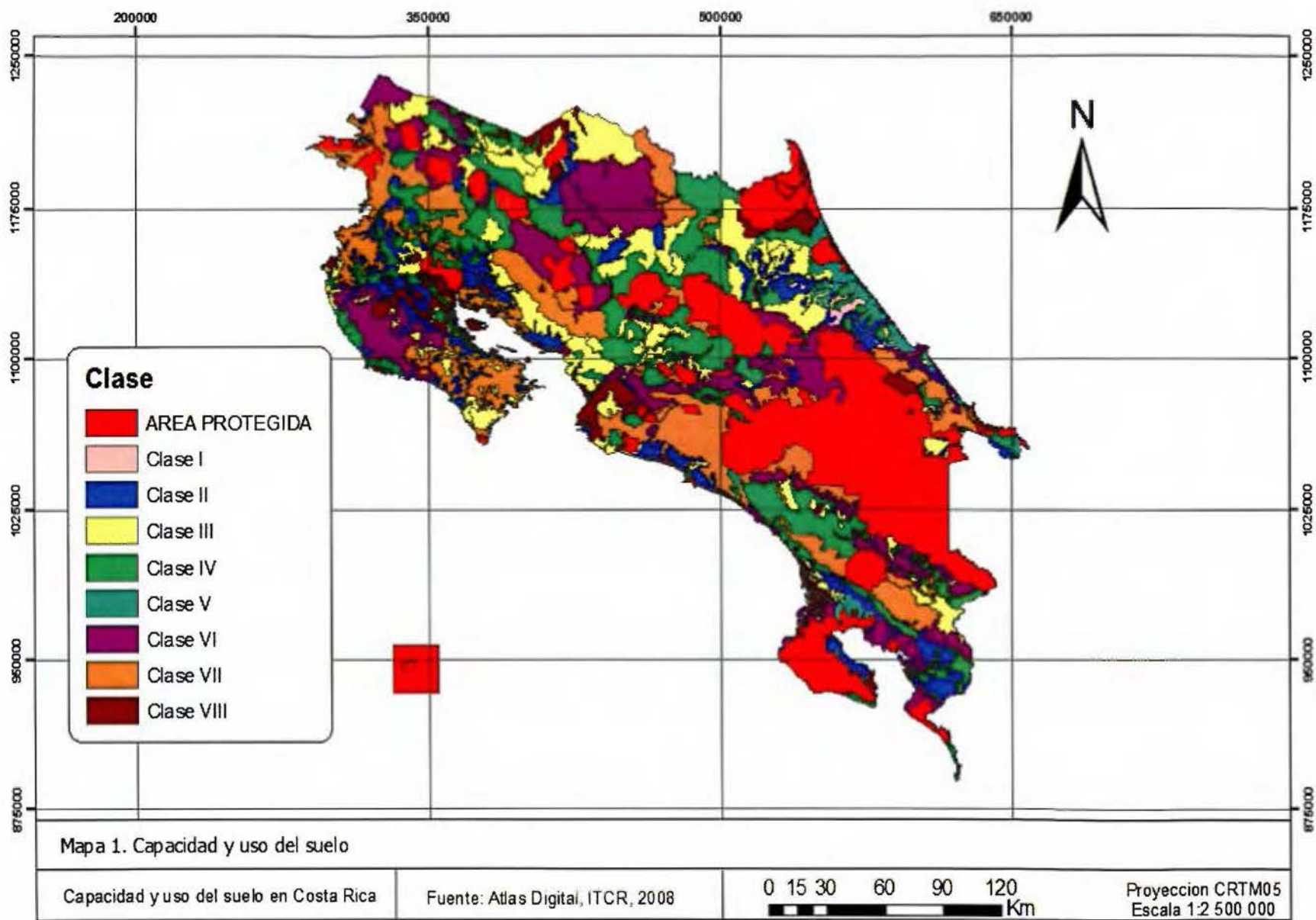


Figura 6.3 Mapa de la capacidad y uso del suelo

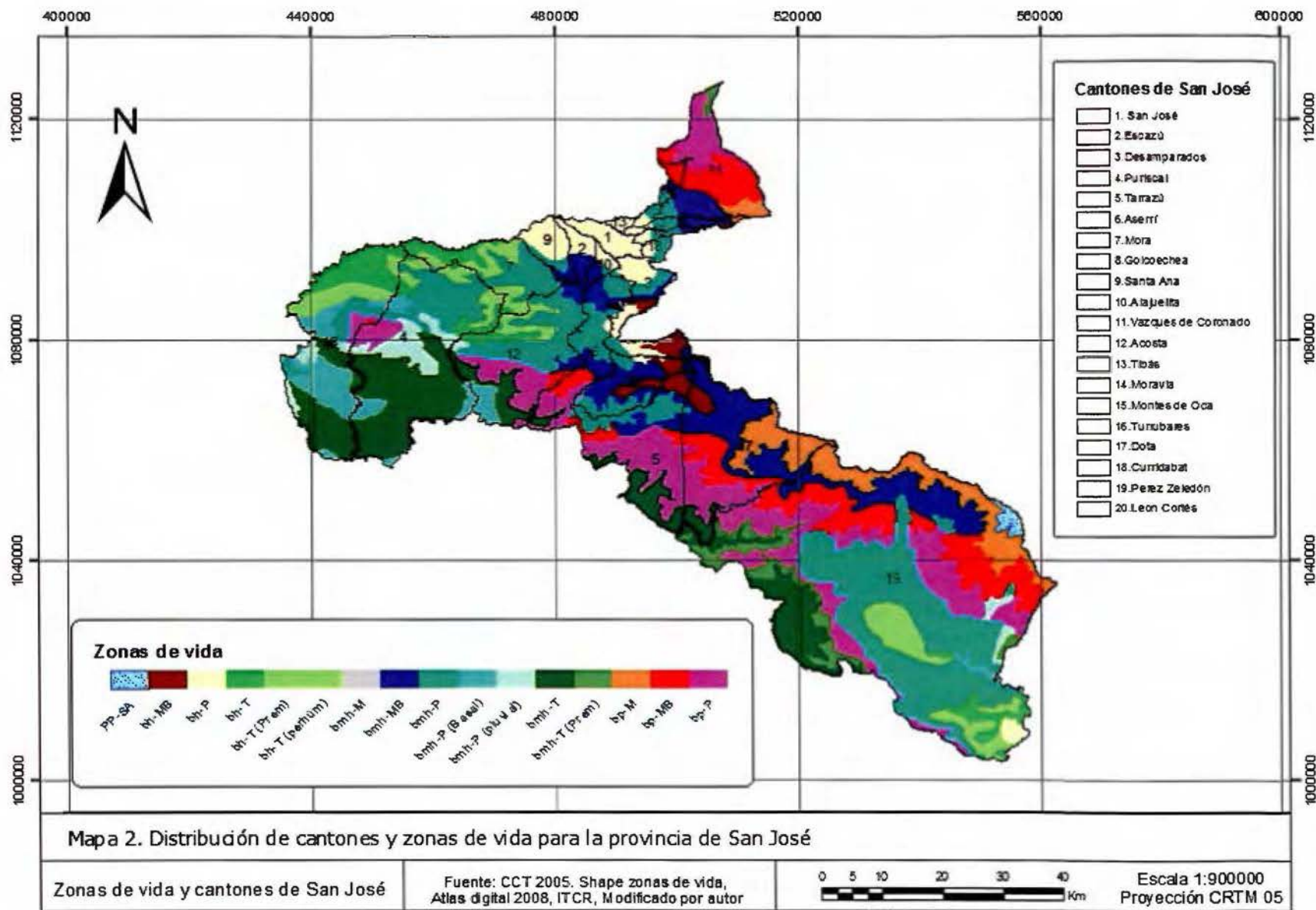


Figura 6.4 Mapa de distribución de cantones y zonas de vida para la provincia de San José

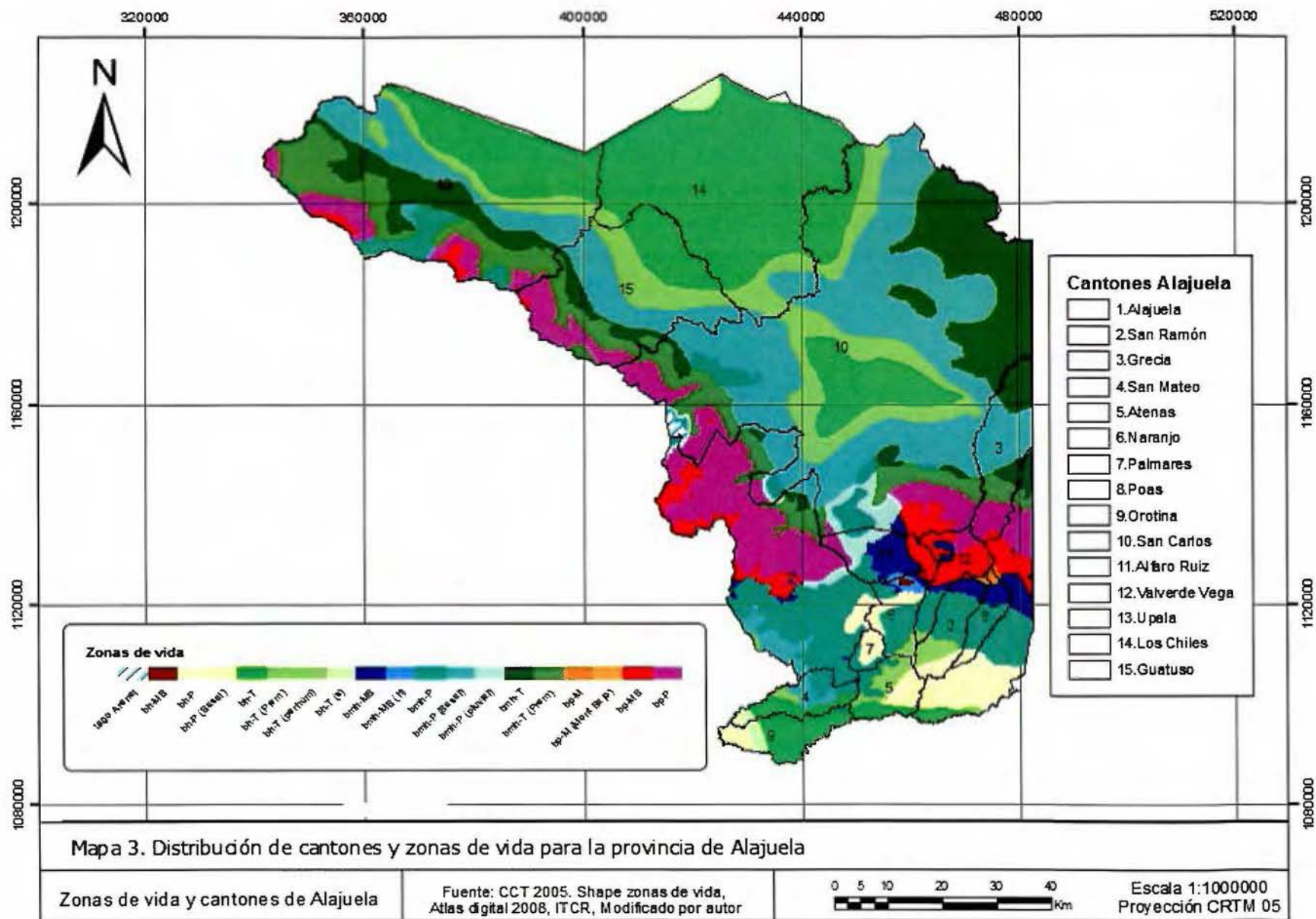


Figura 6.5 Mapa de distribución de cantones y zonas de vida para la provincia de Alajuela

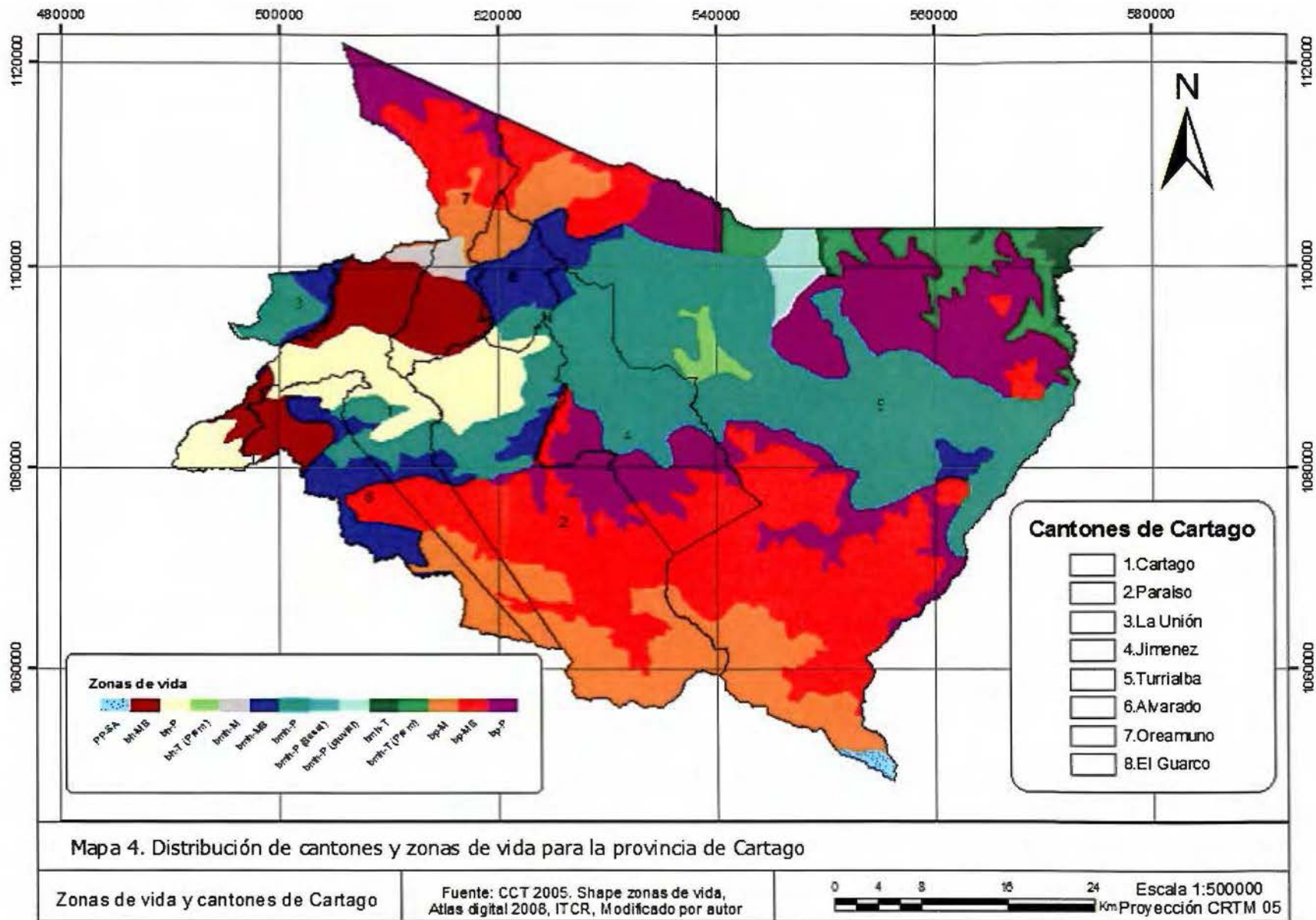


Figura 6.6 Mapa de distribución de cantones y zonas de vida para la provincia de Cartago

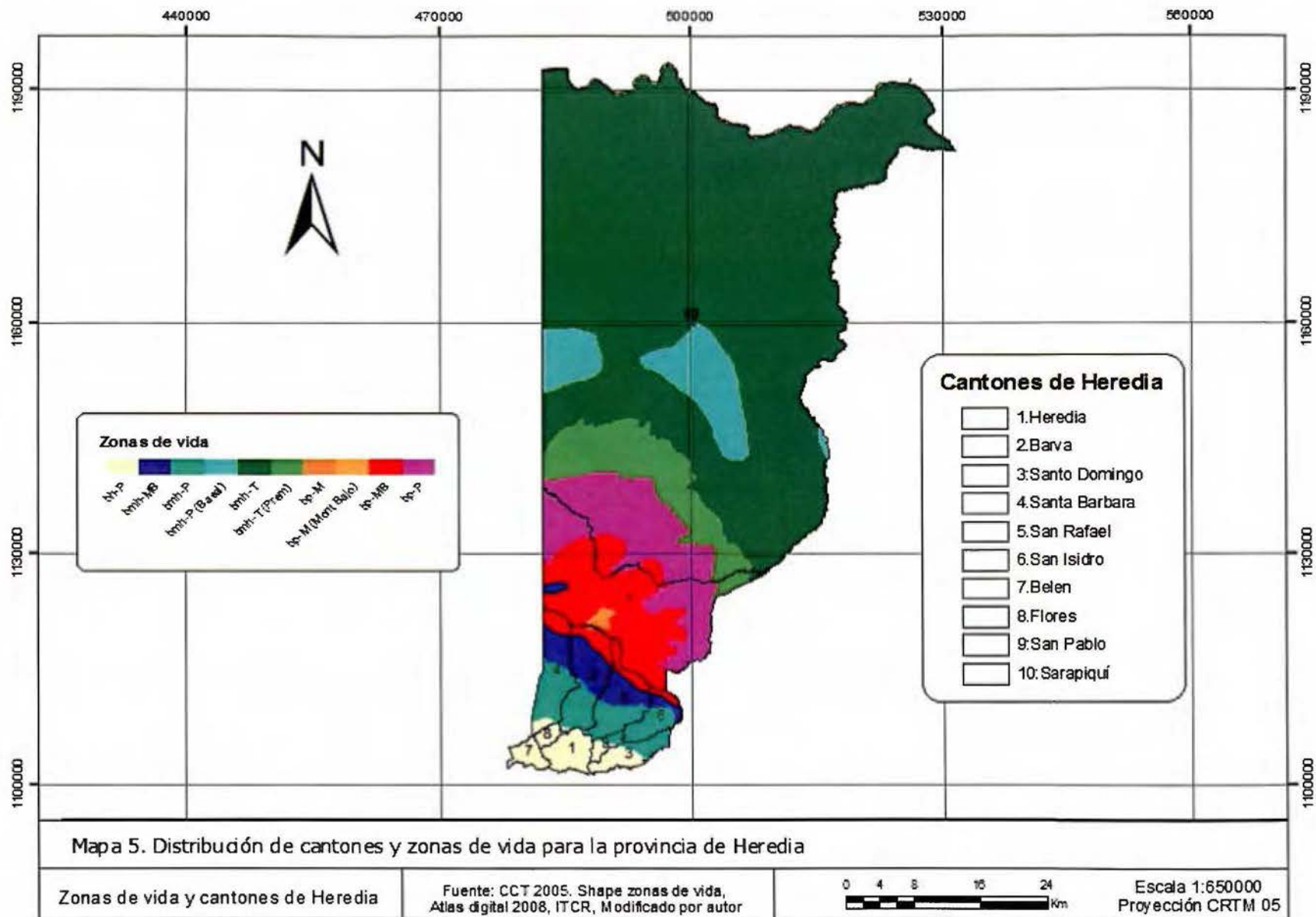


Figura 6.7 Mapa de distribución de cantones y zonas de vida para la provincia de Heredia

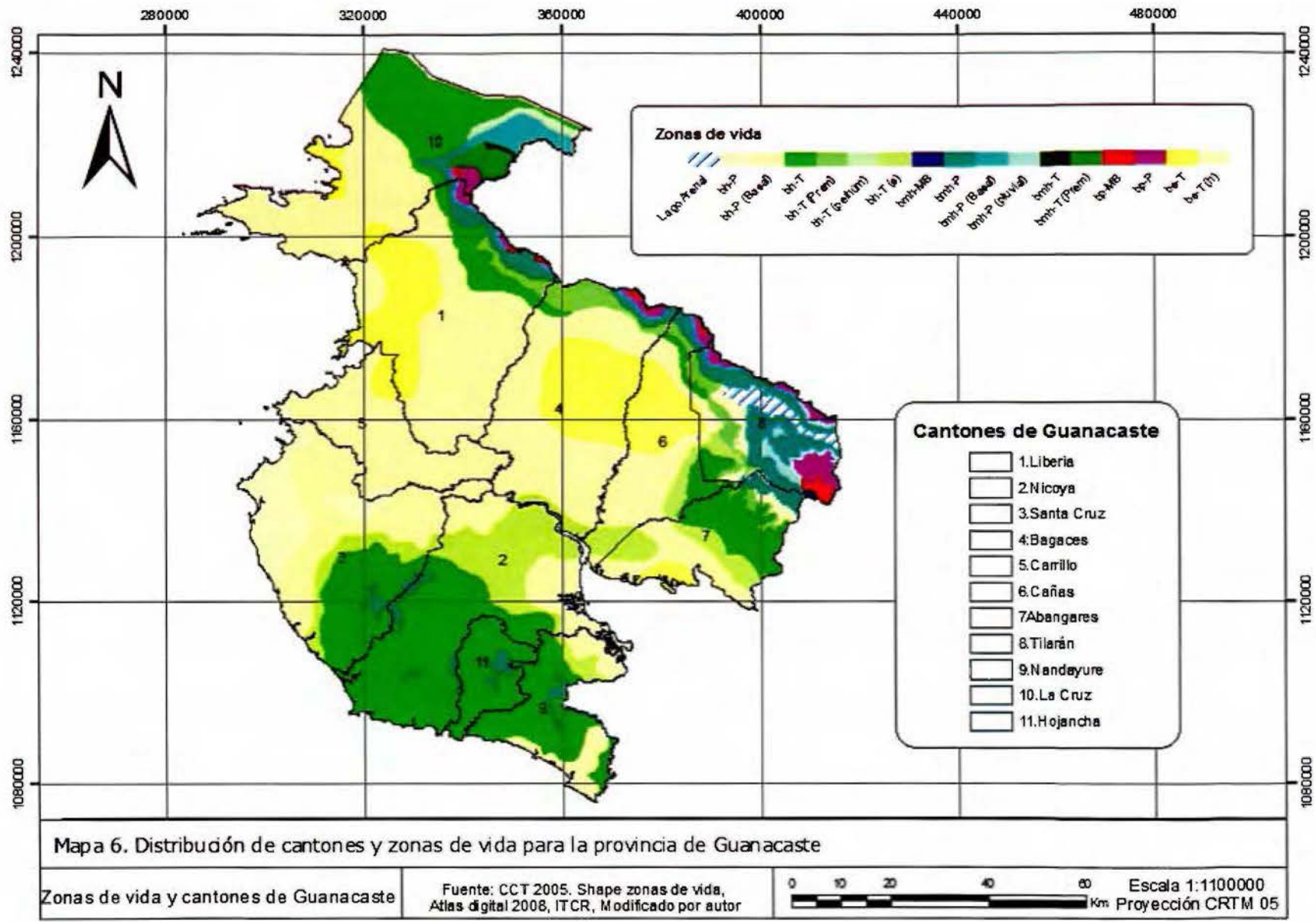
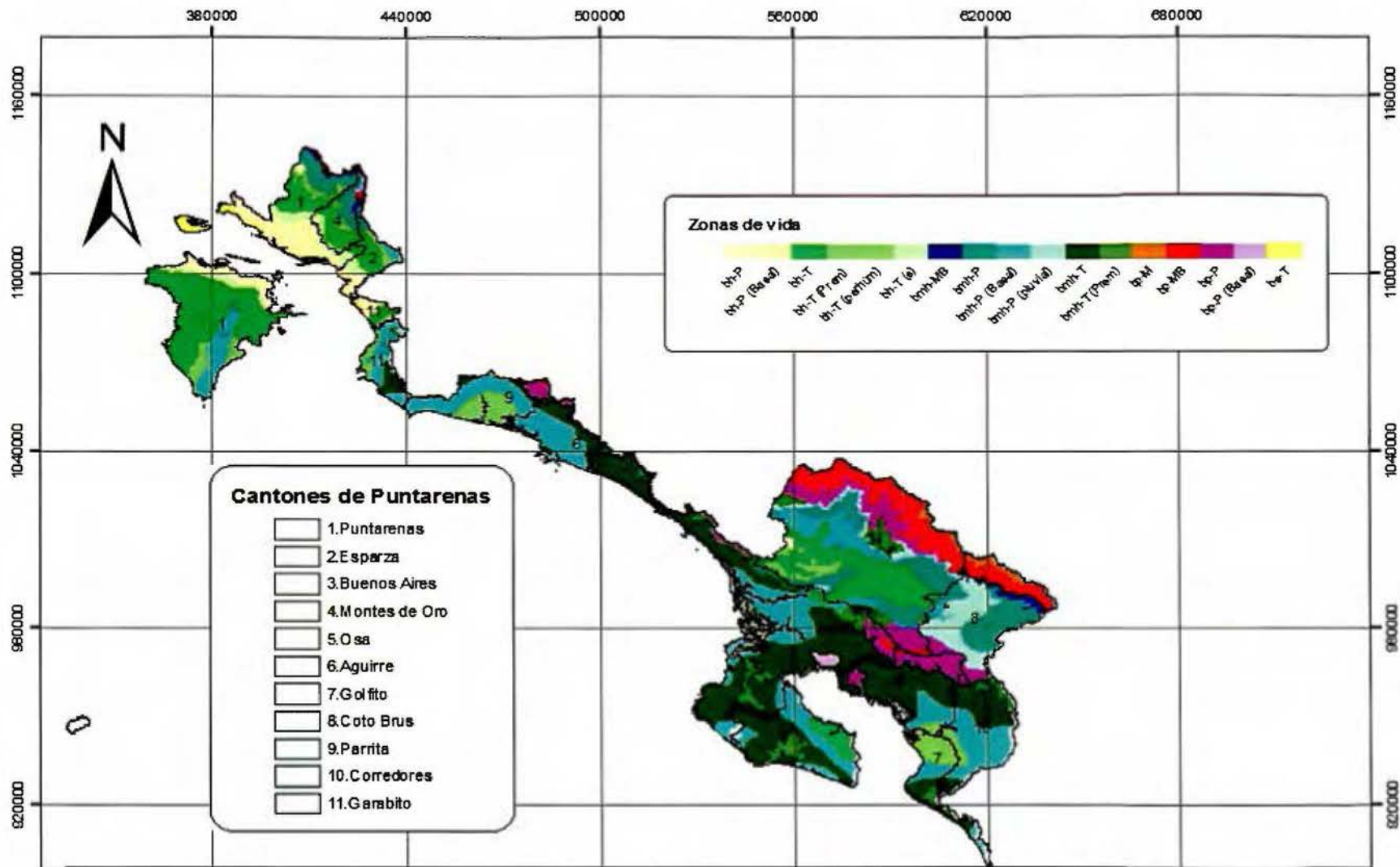


Figura 6.8 Mapa de distribución de cantones y zonas de vida para la provincia de Guanacaste



Mapa 7. Distribución de cantones y zonas de vida para la provincia de Puntarenas

Zonas de vida y cantones de Puntarenas	Fuente: CCT 2005. Shape zonas de vida, Atlas digital 2008, ITCR, Modificado por autor		Escala 1:1800000 Proyección CRTM 05
--	---	--	--

Figura 6.9 Mapa de distribución de cantones y zonas de vida para la provincia de Puntarenas

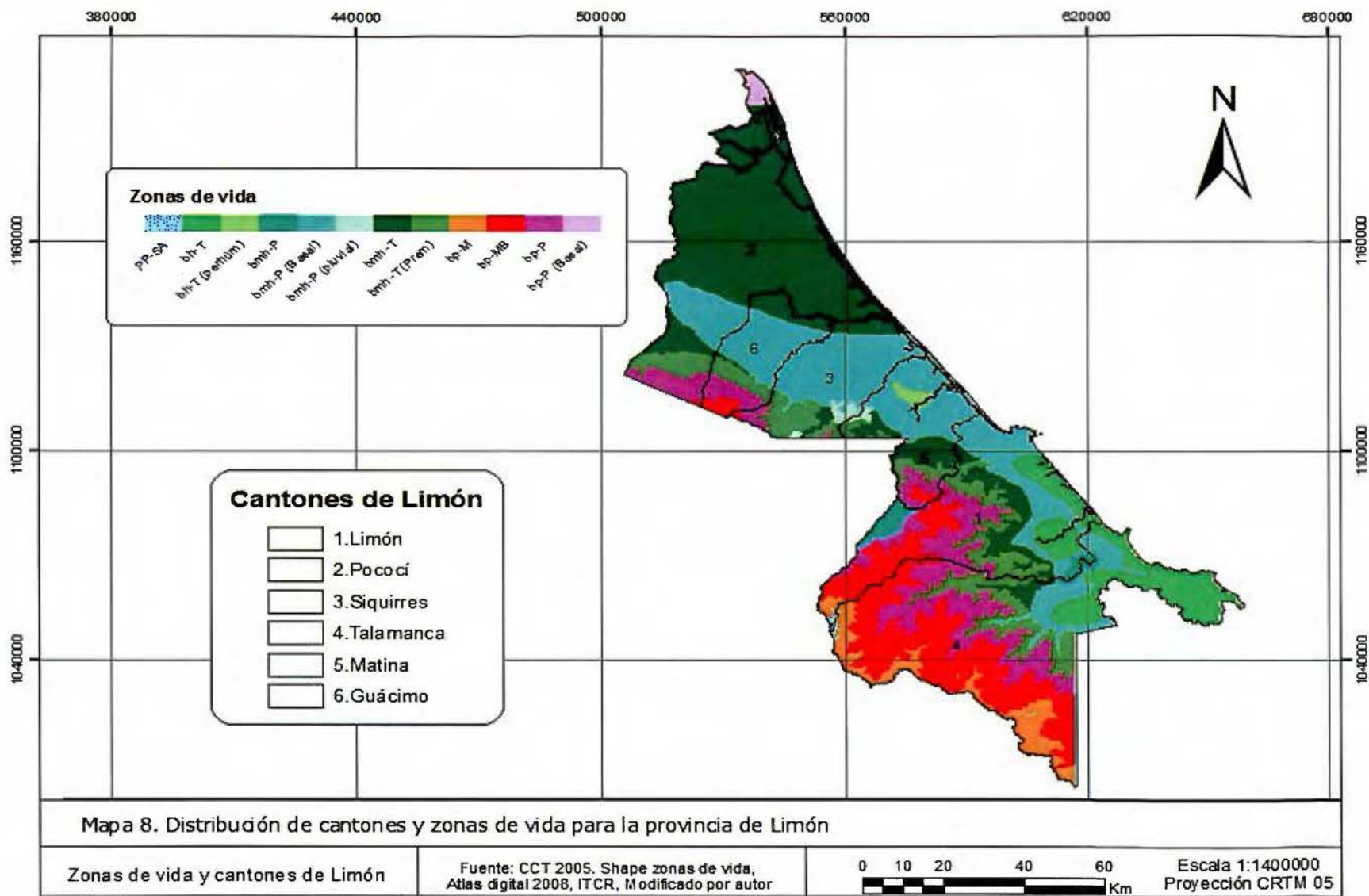
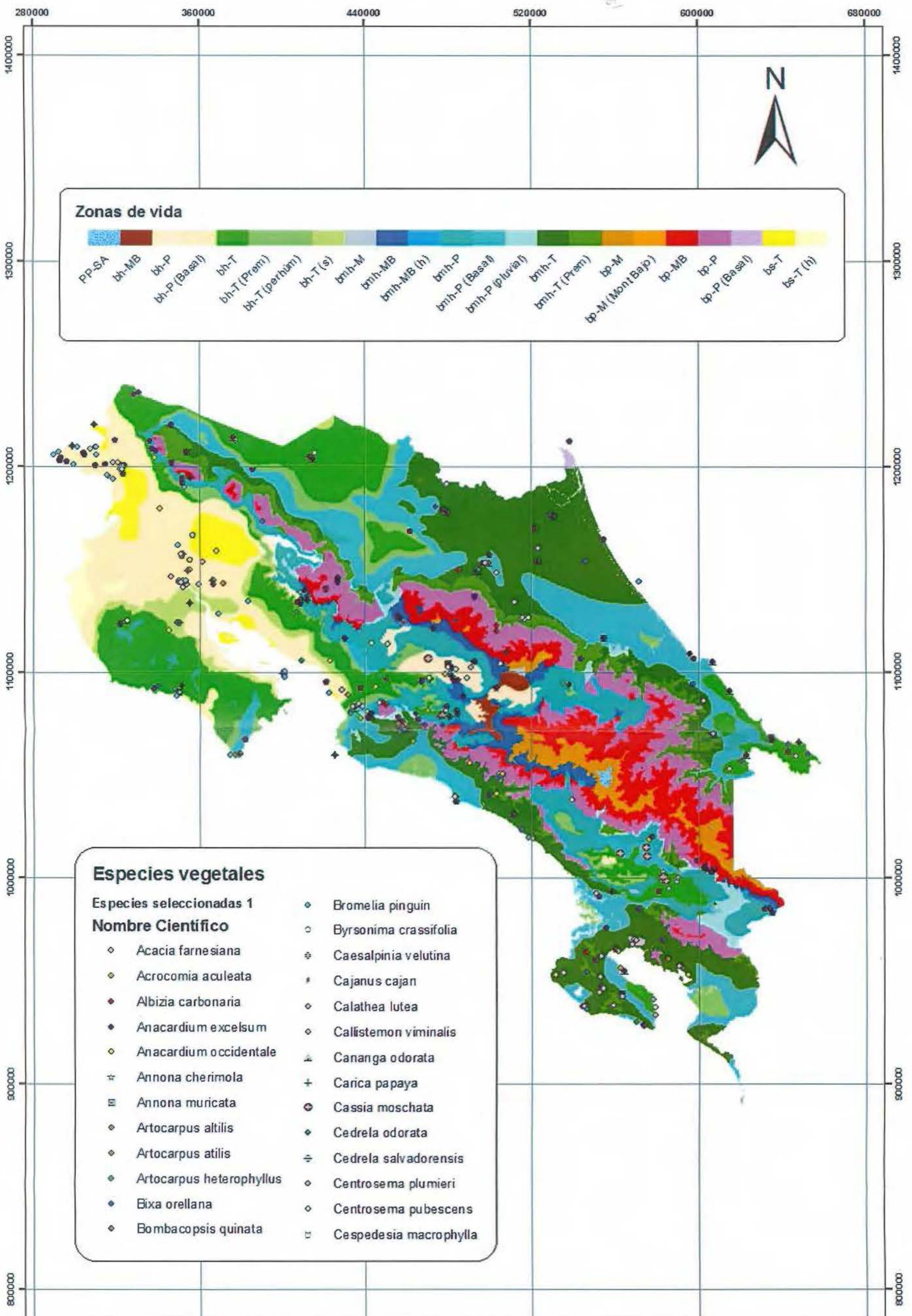


Figura 6.10 Mapa de distribución de cantones y zonas de vida para la provincia de Limón



Mapa 9.1 Especies vegetales para estabilidad de taludes por zonas de vida


Especies por zonas de vida	Fuente: CCT, 2005. Zonas de vida, INBio, Datos geográficos	0 15 30 60 90  Km	Escala 1:1800000 Proyección CRTM05
-----------------------------------	---	---	---------------------------------------

Figura 6.11 Mapa No 1 de especies vegetales para estabilización de taludes distribuidas por zonas de vida

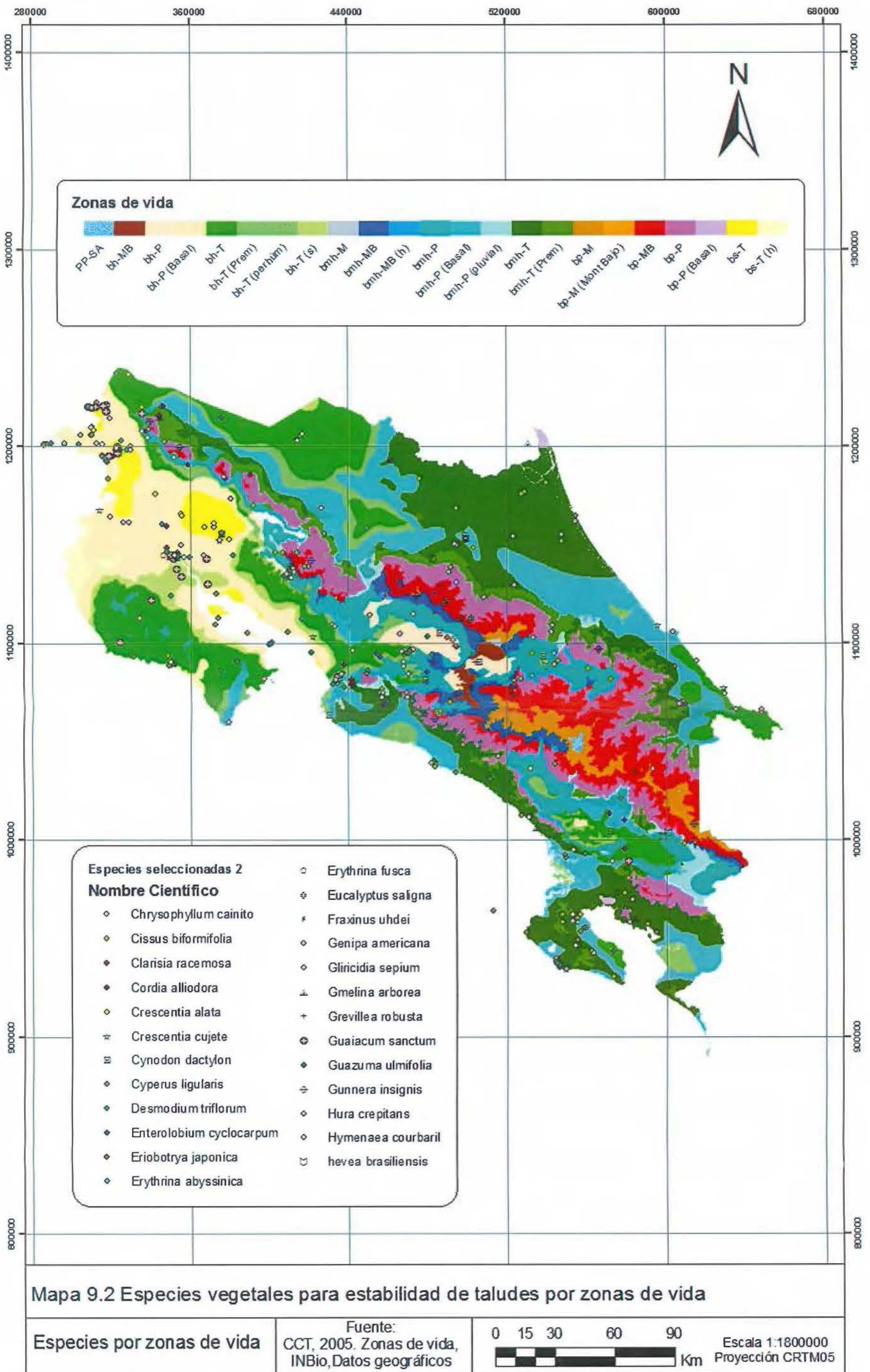
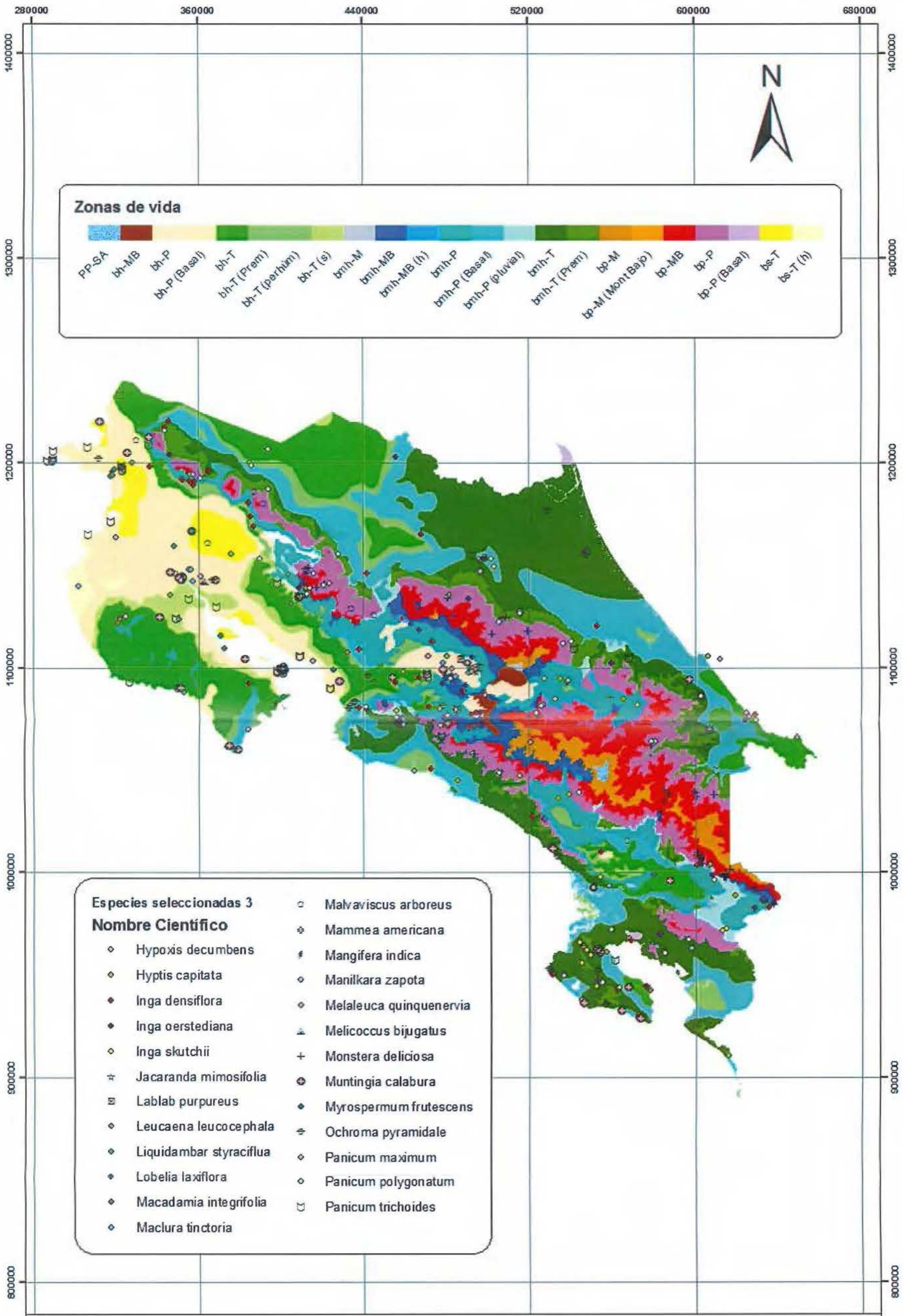


Figura 6.12 Mapa No 2 de especies vegetales para estabilización de taludes distribuidas por zonas de vida



Mapa 9.3 Especies vegetales para estabilidad de taludes por zonas de vida

Especies por zonas de vida	Fuente: CCT, 2005. Zonas de vida, INBio, Datos geográficos	0 15 30 60 90 Km	Escala 1:1800000 Proyección CRTM05
----------------------------	--	---------------------	---------------------------------------

Figura 6.13 Mapa No 3 de especies vegetales para estabilización de taludes distribuidas por zonas de vida

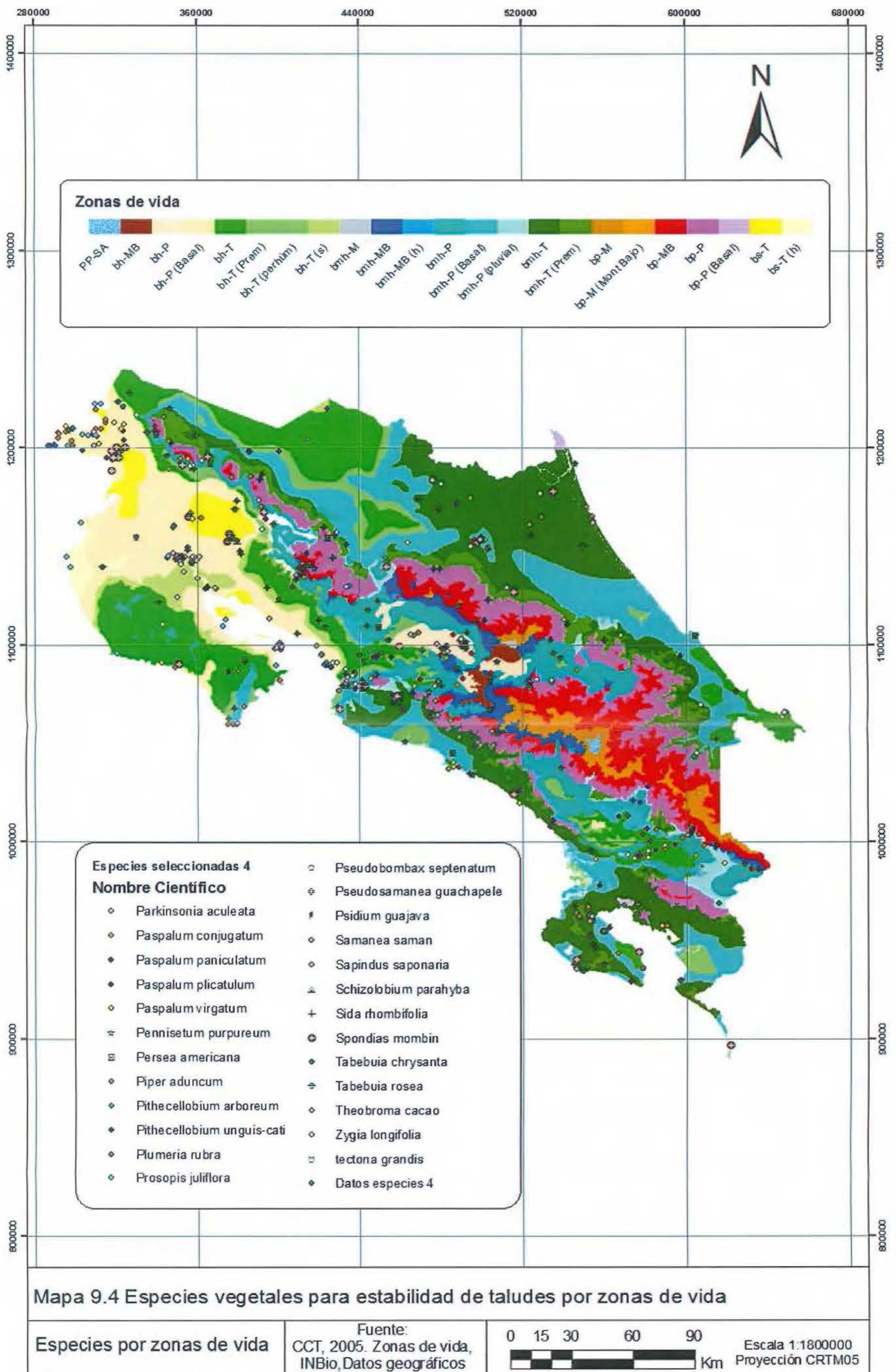


Figura 6.14 Mapa No 4 de especies vegetales para estabilización de taludes distribuidas por zonas de vida

Capítulo 7

Conclusiones y recomendaciones

A continuación se presentan las principales conclusiones y recomendaciones producto de esta investigación:

7.1 Conclusiones

- ✓ El producto final de este trabajo es la elaboración de una guía práctica para la estabilización de taludes utilizando vegetación nativa. Esta guía sirve para establecer las pautas necesarias para la escogencia de las especies que se quieran introducir en un proyecto en específico para la prevención de problemas de inestabilidad de taludes. Además, para que el interesado recurra a elementos como la organización, el diseño, ejecución o implantación y mantenimiento del proyecto para su correcta realización.
- ✓ La guía permite escoger de acuerdo con la ubicación exacta de cada proyecto, las especies que han sido seleccionadas para cada zona de vida, debido a su capacidad para prevenir deslizamientos superficiales. También, brinda recomendaciones del tipo de siembra o plantación a utilizar de acuerdo con las características del talud; así como aspectos de diseño para la conformación de la vegetación y el mantenimiento requerido por las especies.
- ✓ En Costa Rica no existe ninguna metodología que permita a los ingenieros conocer sobre el tipo de vegetación más adecuado para prevenir deslizamientos en cada sitio específico. Por esto este trabajo llena un vacío que existe en este campo.
- ✓ La metodología propuesta aplica para prevención y no para la solución de deslizamientos; debido a que no se dan resultados inmediatos para la estabilización de taludes con el uso de la vegetación. Por tanto la implantación de vegetación no sustituye el uso de técnicas convencionales de la geotecnia para la estabilización de taludes.

- ✓ Las giras realizadas a los diferentes proyectos del ICE, sirven como un complemento a la guía. Se verificó que la vegetación que crece de manera natural en los taludes visitados (especialmente la arbustiva), tiene características muy similares a las exigencias de la teoría para la prevención de deslizamientos superficiales.
- ✓ La experiencia obtenida de los proyectos del ICE, refleja que en zonas donde existe exceso de precipitación, el uso de la vegetación debe ser complementado con la construcción de elementos que ayuden a evacuar el agua en el talud. Además el mantenimiento de los taludes debe realizarse con cierta frecuencia, para evitar problemas como la creación de cárcavas de erosión que generan problemas de inestabilidad.
- ✓ Los taludes a tratar mediante esta metodología, deben ser taludes estables. Lo que se pretende es prevenir una posible falla, utilizando especies arbustivas que puedan sostener la masa superficial del suelo.
- ✓ Las especies seleccionadas son en su gran mayoría nativas de Costa Rica, lo que presenta múltiples ventajas debido a que requieren de menos cuidados y se desenvuelven muy bien en cada zona de vida del país.
- ✓ Hasta el momento el uso de la bioingeniería de suelos con especies arbustivas es nula en nuestro país. Por ello este trabajo pretende incentivar esta técnica.

7.2 Recomendaciones

- ✓ Se recomienda dar mantenimiento a las especies después de la implantación. De esta forma se evitan los problemas de invasión de otras especies que no sirven para el propósito de la investigación
- ✓ Los árboles que son talados en los proyectos de construcción deben ser aprovechados para observar su sistema radical, mediante mediciones de las longitudes y diámetros de las raíces. Además se podrían aprovechar y cortar los ejemplares para realizarles ensayos a la tensión y describir además el tipo de suelo del que fueron extraídos.
- ✓ Se recomienda dar continuidad a este proyecto mediante una investigación en la cual se proporcionen más datos de resistencia mecánica de la extracción de especies forestales de los taludes y de la resistencia a la tensión de sus raíces.
- ✓ Las copas de los árboles pueden ayudar como cobertura vegetal para la intercepción de la lluvia, sin embargo es mejor que la densidad en su copa no sea muy grande debido al viento, ya que las puede volcar.
- ✓ La biodiversidad en Costa Rica es muy grande, por lo que una especie puede ser adaptada a diversas zonas de vida. La consulta a expertos forestales y botánicos para la elección de las especies no deja de ser una gran ventaja pues ellos conocen bien el funcionamiento de las especies y los sitios ideales para su desarrollo.

Referencias bibliográficas

1. Ayala Carcedo F.J. (2007). Riesgos Naturales y Desarrollo Sostenible Impacto. Predicción y Mitigación, Instituto Tecnológico Geominero.
2. Bolaños, R.; Watson, V., y Tosi, J. (2005). Mapa ecológico de Costa Rica (Zonas de Vida), según el sistema de clasificación de zonas de vida del mundo de L.R. Holdridge), Escala 1:750 000. Centro Científico Tropical, San José, Costa Rica.
3. Burrough ER, Thomas BR. (1977). "Declining root strength in Douglas-fir after felling as a factor in slope stability". USDA Forest Service Research Paper INT-190. Intermountain Forest and Range Experiment Station: Ogden, UT.
4. Burroughs, E.P. ,. Thomas R.R, (1976). "Root Strength of Douglas Fir as a Factor in Slope Stability", USDA Forest Service Review, Draft, INT 1600-12 (9/66).
5. Canadell J., Jackson R. B., Ehleringer J. R., Mooney H. A., Sala O. E., Schulze. Oecologia E. D., (1996), Vol. 108 583-595.
6. Carpio Malavassi Isabel Ma. (2003). Maderas de Costa Rica 150 especies forestales. Editorial de la Universidad de Costa Rica
7. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE. Instituto Forestal de Oxford. Editado por j. Cordero y D.H. Boshier (2003). Árboles de Centroamérica un manual para extensionistas.
8. Coppin , NJ y Richards, IG (1990) "use of vegetation in civil engineering" CIRIA-Butterworths
9. Escobar Cardona O y Rodríguez Guzmán J. R. (1993). Las maderas en Colombia. SENA. Centro Colombo Canadiense de la Madera. Regional Antioquia Choco. Medellín
10. ESNACIFOR (1988). Catalogo de 100 especies forestales de Honduras, distribución propiedades y usos. Escuela nacional de ciencias forestales.

11. Eulalio Juárez Badillo Rico Rodríguez (2009). Mecánica de suelos tomo 2 teorías y aplicaciones de la mecánica de suelos. Limusa Mexico
12. Fernandez, D. (2011). Guía práctica para el control de erosión superficial en los suelos de Costa Rica utilizando vegetación nativa. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
13. González P., E.R. (1995) Refuerzo radicular en taludes y laderas. Tesis Ingeniería Civil. Medellin. Universidad Nacional de Colombia. Facultad Nacional de Minas
14. González de Vallejo (2002). Ingeniería geológica., Pearson Educación Madrid
15. Goodman, R.E. & Bray, J.W. (1976), Toppling of rock slopes In: Rock engineering for foundations and slopes; proceedings of a specialty conference, Vol. 2 p201-233, Am. Soc. Civ. Eng.. New York,
16. Gray, D.H. (1978). "Role of Woody Vegetation in Reinforcing Soils and Stabilizing Slopes", Symposium on Soil Reinforcing and Stabilizing Techniques, Sydney, Australia, pp. 253-306.
17. Gray, D. H. and A.T. Leiser, 1982. Biotechnical slope protection and erosion control. Van Nostrand Reinhold Company, New York. 271 p.
18. Gray, D.H., Sotir. R.B. (1992). "Biotechnical stabilization of cut and fill slopes". Instability and performance of slopes and embankments: Proceedings of a specialty conference, Berkeley, Calif. (R.B. Seed and R.W. Boulanger, eds.) Geotechnical special Publication 31, American Society of civil engineers, New York, pp. 1395-1410
19. Greenway D.R. (1987). "Vegetation and Slope Stability", Slope Stability, edited by Anderson M.G, John Wiley and Sons Ltd. pp. 187-230, New York.
20. Holdridge, L. R. 1967. «Life Zone Ecology». Tropical Science Center. San José, Costa Rica. (Traducción del inglés por Humberto Jiménez Saa: «Ecología Basada en Zonas de Vida», 1a. ed. San José, Costa Rica: IICA, 1982)

21. Instituto Costarricense de Electricidad. ICE (2011). Subestación Transformadora Palmar Norte y su Entronque con la Línea de Transmisión San Isidro – Río Claro. Informe Cierre de Actividades concernientes a la Gestión Ambiental.
22. ITCR (Instituto Tecnológico de Costa Rica). 2009. Atlas Costa Rica 2008. Archivos digitales.
23. Jesus Izco S, (2004). Botánica (2ª ED.). Mcgraw-Hill / Interamericana de España, S.A.
24. Kramer, P. 1974. Relaciones hídricas de suelos plantas. México Centro Regional de Ayuda Técnica
25. Leventhal A.R.-Mostyn G.R. (1987) "Slope Stabilization Techniques and Their Application" ,Soil Slope Instability and Stabilisation " Edited By Walker B. and Fell R., A.A. Balkema, pp. 183-230, Rotterdam.
26. López Jimeno C., Mataix González C., Farinas de Alba J. L., Ilopis Trillo G, Serrano Pedraza P. A., García Bermúdez P., Gómez Prieto R. (1999) Manual de estabilización y revegetación de taludes.
27. Ministerio de Agricultura y Ganadería. MAG (1991). Manual descriptivo de la leyenda del mapa de Capacidad de Uso de Suelo de la Tierra de Costa Rica. Convenio MAG-Sepsa-Mideplan;. San José, Costa Rica. pp. 7-11
28. O'Loughlin y Pearce (1976) *Influence of Cenozoic Geology on mass movement and sediment yields in small forests catchments*, North Westland, New Zealand, *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*", 14, 41-46
29. O'Loughlin, C.L., Watson A. (1979). "Root-wood strength deterioration in Radiata Pine after clearfelling". *New Zealand Journal of Forestry Science* 39(3),284-293.
30. Porras, G (2000). Uso de la vegetación para la estabilización de taludes. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica

31. Quirós, A (2012) Efecto de las raíces sobre la resistencia al corte en suelos. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica
32. Riesgos geológicos vva (1987). Editorial organismos oficiales de la administración, Instituto Geológico y Minero de España
33. Schiechl H.M. (1980), "Bioengineering for land Reclamation and Conservation" University of Alberta Press, 404 p. Edmonton Alberta Canadá
34. Schiechl, H.M. (1986) Manual de Ordenación de cuencas hidrográficas: Estabilización de laderas con tratamientos del suelo y vegetación. No 13. FAO, Roma.
35. Soeters, R. y Van Westen, C.J. (1996). "Slope instability recognition, analysis and zonation". In Turner, K. y Schuster, R.L. (Eds.), Landslides Investigation and Mitigation; Transportation Research Board, Special Report 247, National Academy Press, Washington DC, 129-177.
36. Styczen M.E. -Moran R.P.C., (1996) "Engineering properties of vegetation" Slope Stabilization and Erosion Control. Editors: Morgan R.P.C. Rickson R.J. E&FN SPON, London. Pp 5-58.
37. Suarez Díaz J. (1998). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Ingeniería de suelos Ltda (editorial). Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos.
38. Tsukamoto Y., Kusakabe O. (1984) "Vegetative influences on Debris Slide Occurrences on Steep Slopes in Japan". Symposium on effects of Forest Land Use on Erosion and Slope Stability, Honolulu.
39. Turmanina, V.I., (1965). "The Strength of Tree Roots", Bulletin of the Moscow Society of Naturalists, Biological Section, Vol. 70, pp. 36-45.
40. Varnes, D.J. 1978. "Slope movement types and processes". in r.l. Schuster y r. j. Krizek (eds.) landslides: Analysis and control. Transportation Research board. special report 176: 11-33

41. Wu, T.H. (1976). *Investigation of landslides on Prince of Wales Island, Geotechnical Engineering Report 5*. Columbus, OH: Civil Engineering Department, Ohio State Univ.
42. Yagi N.- Yatabe R., Enoki M.- Hassandi A.,(1994) "The effects of Root Networks on Slope Stability", International Conference on Landslides and Slope Stability, pp. 387-392, Kuala Lumpur, Malaysia.