

**DISEÑO DE UNA MANTA BIODEGRADABLE DE TIPO EXPERIMENTAL PARA LA
CONSERVACION DE TALUDES A PARTIR DEL ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LOS RESIDUOS
ORGÁNICOS AGRÍCOLAS DE LA REGIÓN DEL TUNDAMA EN EL DEPARTAMENTO DE
BOYACÁ.**

DIEGO FERNANDO BARAJAS SEPÚLVEDA

UNIVERSIDAD DE LA SABANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN DISEÑO Y GESTIÓN DE PROCESOS
ÁREA DE ÉNFASIS: BIOSISTEMAS
CHIA
2011

**DISEÑO DE UNA MANTA BIODEGRADABLE DE TIPO EXPERIMENTAL PARA LA
CONSERVACION DE TALUDES A PARTIR DEL ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LOS RESIDUOS
ORGÁNICOS AGRÍCOLAS DE LA REGIÓN DEL TUNDAMA EN EL DEPARTAMENTO DE
BOYACÁ.**

DIEGO FERNANDO BARAJAS SEPÚLVEDA

Proyecto de Investigación realizado para optar al título de Magister en Diseño y Gestión
de Procesos

Director:
Ph.D. FERNANDO GUTIERREZ
Ecólogo
Pontificia Universidad Javeriana

UNIVERSIDAD DE LA SABANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN DISEÑO Y GESTIÓN DE PROCESOS
ÁREA DE ÉNFASIS: BIOSISTEMAS
CHIA
2011

NOTA DE ACEPTACIÓN

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

A mi madre, ejemplo de
perseverancia, fortaleza y amor;

A mi esposa, por mostrarme la
grandeza del amor y la dedicación;

Y ante todo, al ser que día a día nos da
la vida.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su agradecimiento a:

Ph.D. Fernando Gutiérrez, director del proyecto por su apoyo incondicional, por el entusiasmo que transmitió en cada una de sus palabras y ante todo por su ejemplo de emprendimiento y amistad.

A la Unidad de Investigación y Extensión Agroindustrial de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia Facultad Seccional Duitama, por permitirme realizar los experimentos de la presente investigación.

A los demás docentes y compañeros de la Escuela de Diseño Industrial por sus valiosos aportes y sugerencias acerca del proyecto.

De igual manera expreso mis agradecimientos a los demás docentes tanto de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia Facultad Seccional Duitama, como aquellos de la Universidad de la Sabana que aportaron de una u otra manera al proyecto.

RESUMEN

Los deslizamientos son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daño en las propiedades por valor de decenas de billones de dólares cada año (Brabb-1989); sin embargo, muy pocas personas son conscientes de su importancia. El 90% de las pérdidas por deslizamientos son evitables si el problema se identifica con anterioridad y se toman medidas de prevención o control. Un talud o ladera es una masa de tierra que no es plana sino que posee pendiente o cambios de altura significativos. En la literatura técnica se define como ladera cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y talud cuando se conformó artificialmente.¹

El deterioro, con el tiempo puede dar lugar a la necesidad de mantenimiento o construcción de obras de estabilización. Al deterioro, sin embargo, se le da muy poca atención en el momento del diseño y el énfasis se dirige a evitar las fallas profundas, más que a evitar los fenómenos anteriores a la falla.

Cuando un talud se corta, para la construcción de una vía o de una obra de infraestructura, ocurre una relajación de los esfuerzos de confinamiento y una exposición al medio ambiente, cambiándose la posición de equilibrio por una de deterioro acelerado. El deterioro comprende la alteración física y química de los materiales y su subsecuente desprendimiento o remoción. Este incluye la alteración mineral, los efectos de relajación y la abrasión. La iniciación y propagación de fracturas es de significancia particular en la destrucción de la superficie que puede conducir a caídos de roca o colapso del talud.

El proyecto plantea el diseño y construcción de una manta de carácter experimental que ayude inicialmente como recubrimiento para luego contribuir a la conservación de las propiedades de los taludes construidos, principalmente, para facilitar la adecuación de los tramos viales, caso particular la vía Tunja-Duitama (correspondiente a la concesión BTS (Briceño-Tunja-Sogamoso)).

Se tuvo como objetivo principal el diseñar una manta biodegradable de tipo experimental que permita el mejoramiento de las características de taludes, a partir de la evaluación de los residuos orgánicos agrícolas generados en la región del Tundama en el departamento de Boyacá. Además se identificaron los residuos agrícolas propicios para la fabricación de dicha manta, verificando su comportamiento en el contexto propuesto.

¹ Hutchinson J. N. (1968). "Mass Movement". Encyclopedia of Geomorphology. Reinhold New York, pp. 688-695.

Por lo anterior, se realizaron diferentes experimentos utilizando residuos agrícolas de la región con el fin de determinar materiales para la construcción de la manta y su biodegradación adecuada para facilitar la revegetación en las zonas de estudio.

El desarrollo del proyecto permitió establecer que es una manta para estabilizar taludes, aportándole principalmente nutrientes al suelo para que mantuviera la estructura y así, posteriormente, permitiera el desarrollo de base vegetal para generar mantos verdes que recubren el talud.

La manta mejoró las propiedades del suelo gracias a que la materia orgánica favorece la estabilidad estructural de la superficie donde se ubicó, debido al aumento del contenido en macronutrientes N (principalmente por ser componente tanto del residuo agrícola seleccionado como del aglomerante utilizado para la fabricación de la manta), P,K, y micronutrientes; aumentó su capacidad de retención de agua en el suelo debido al comportamiento frente al líquido, permitiendo su posterior biodegradación..

Frente a lo anterior se desarrolló la presente investigación integrando aspectos como la producción agrícola, construcciones viales y el diseño, a través de un enfoque ambiental y biosistémico visto en la academia. Se desarrolló una manta biodegradable que contribuyó a la conservación de dichos taludes mediante el estudio y evaluación de diferentes materiales que han sido residuos agrícolas y solamente se les da uso como alimento secundario para animales o como abono, desaprovechándose oportunidades de aplicación de dichos residuos en la creación de nuevos materiales y/o productos.

Palabras claves: Talud, aprovechamiento de residuos, manta, condiciones ambientales.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	1
CAPITULO 1. SITUACION-PROBLEMA.....	3
1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACION.....	3
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.3. HIPOTESIS.....	4
1.4. OBJETIVOS.....	4
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. IMPACTOS.....	5
CAPITULO 2. ANTECEDENTES.....	6
2.1. TALUDES.....	6
2.1.1. Definiciones.....	6
2.1.2. Etapas en el proceso de falla.....	7
2.1.3. Métodos para disminuir o eliminar el riesgo.....	8
2.2. CONSERVACIÓN DE TALUDES.....	11
2.2.1. Tipos de taludes.....	12
2.2.1.1. Desmontes.....	13
2.2.1.2. Terraplenes.....	13

2.3.	RESIDUOS AGRICOLAS.....	15
2.3.1.	Aplicaciones del maíz.....	18
2.3.2.	Aplicaciones de la cascara de papa.....	21
2.3.3.	Aplicaciones de los residuos de la cebolla larga.....	21
2.4.	APLICACIONES DE MATERIALES NATURALES EN GEOTEXTILES, MANTAS Y SIMILARES.....	22
2.4.1.	Almidón Termoplástico.....	22
2.4.2.	Geomalla con aplicaciones poliméricas sintéticas.....	23
2.4.3.	Mallas de fibra de coco.....	24
2.4.4.	Malla de Yute.....	24
2.4.5.	Rollizos y baldosas de pasto.....	25
2.4.6.	Sistemas de control no naturales sobre taludes.....	26
2.4.7.	Otros medios referentes.....	27
2.4.7.1	Plásticos.....	28
2.4.7.2	Geosintéticos.....	29
2.4.7.3	Geocompuestos.....	30
2.5.	TECNICAS DE SELECCION DE MATERIALES Y TOMA DE DECISIONES.....	30
2.5.1.	Análisis Multicriterio.....	30
2.5.1.1.	Métodos de decisión multicriterio discretos.....	31
2.5.1.1.1.	Método de agregación.....	31
2.5.1.1.2.	Método compensatorio.....	31

2.5.1.1.3. Método de ponderación lineal (Scoring).....	32
2.5.1.1.4. Método de utilidad multiatributo (MAUT).....	32
2.5.1.1.5. Método electre (E limination E t C hoix T raduisant la R éalité).....	32
2.5.1.1.6. Método promethee (P reference R anking O rganization M ethod for E nrichment E valuations).....	33
2.5.1.1.7. Método macbeth (M easuring A ttractiveness by a C ategorical B ased Evaluation T echnique).....	33
2.5.1.1.8. Método lexicográfico.....	34
2.5.1.1.9. Método de programación por compromiso (TOPSIS).....	34
2.5.1.1.10. Proceso de análisis jerárquico (A.H.P.).....	36
2.5.2. Método de Restricciones Múltiples.....	36
2.5.3. Método de selección de Ashby.....	36
CAPITULO 3. METODOLOGIA.....	38
3.1. AREA DE ESTUDIO.....	38
3.2. MUESTRA.....	39
3.2.1. Fuerzas Activas.....	42
3.2.2. Fuerzas Pasivas.....	43
3.3. SELECCIÓN DE MATERIALES.....	45
3.4. PRUEBAS Y PROCEDIMIENTOS.....	53
3.4.1. Equipos utilizados.....	61
CAPÍTULO 4. RESULTADOS.....	63

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....74

5.1. CONCLUSIONES.....74

5.2. RECOMENDACIONES.....76

BIBLIOGRAFIA.....78

INFOGRAFIA.....83

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Nomenclatura de taludes y laderas.....	6
Figura 2. Desmontes.....	13
Figura 3. Terraplenes.....	13
Figura 4. Coberturas vegetales medias (media + error típico).....	14
Figura 5. Ubicación Geográfica Área de Estudio.....	16
Figura 6. Participación por tipos de cultivo.....	17
Figura 7. Geomalla Typo ESM75.....	23
Figura 8. Malla de fibra de coco.....	24
Figura 9. Malla de Yute.....	25
Figura 10. Rollos y baldosas.....	25
Figura 11. Malla Galvanizada.....	26
Figura 12. Mallas para detener rocas.....	26
Figura 13. Metodología Ashby para el optimizar la fase de diseño.....	37
Figura 14. Desmontes en el área de estudio.....	39
Figura 15. Taludes de muestra.....	40
Figura 16. Distancia promedio de taludes.....	41
Figura 17. Fuerzas activas y pasivas.....	42
Figura 18. Horizontes del suelo.....	44

Figura 19. Revegetación de taludes.....	45
Figura 20. Selección de materiales: Modulo de elasticidad vs. Densidad.....	49
Figura 21. Variedad de maíz: Porva sogamoseño.....	50
Figura 22. Chalas de maíz.....	52
Figura 23. Cuadrados 15 x 15.....	64
Figura 24. Comportamiento T.C.1.....	68
Figura 25. Comportamiento T.C.2.....	68
Figura 26. Comportamiento T.C.3.....	69
Figura 27. Comportamiento T.C.4.....	69
Figura 28. Imagen complementaria de taludes de control.....	71
Figura 29. Cuadro Comparativo.....	72

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Métodos de conformación topográfica para equilibrar fuerzas.....	9
Tabla 2. Métodos de recubrimiento de la superficie del talud.....	9
Tabla 3. Métodos de control de agua y presión de poros.....	10
Tabla 4. Métodos de estructuras de contención.....	10
Tabla 5. Métodos para mejorar la resistencia del suelo.....	11
Tabla 6. Producción en toneladas de los principales cultivos en Boyacá, 2005 (sin contar café).....	16
Tabla 7. Estadísticas de producción de cultivos transitorios en Boyacá.....	18
Tabla 8. Estadísticas de producción de cultivos permanentes en Boyacá.....	18
Tabla 9. Escala de pH. Método Rojo de Metilo.....	43
Tabla 10. Proporción de los diferentes componentes de una planta de maíz.....	51
Tabla 11. Proteína bruta y digestibilidad de la materia seca en diferentes componentes del rastrojo de maíz.....	51
Tabla 12. Resultados obtenidos. Primera prueba.....	56
Tabla 13. Condiciones óptimas para selección de material.....	63
Tabla 14. Comportamiento frente al agua.....	67

INTRODUCCIÓN

La problemática ambiental actual en nuestro país y su repercusión en la escasez de materiales orgánicos para el desarrollo de nuevos productos y/o proyectos, impactan con intensidad en el aprovechamiento de los recursos disponibles en cada parte de nuestra región sea local, regional, nacional e internacional.

Esto se traduce en un problema de índole político, económico, productivo, en fin, todos los sectores que enmarcan una sociedad, puesto que se ha venido adoptando una cultura de racionalidad en los materiales que utilizamos, los recursos que disponemos en uno u otro oficio, haciendo que busquemos nuevas maneras de adquirir o disponer materiales pero sin la conciencia ambiental o mejor, biosistémica.

Con esta investigación se busca desarrollar nuevo conocimiento, particularmente, en la disciplina del Diseño Industrial acerca del aprovechamiento de recursos disponibles en el entorno, transformarlos y traducirlos en respuestas reales que contribuyan a dar soluciones frente a problemáticas identificadas. Tanto la búsqueda y caracterización de materiales como la disposición final de ellos, hacen parte de un vasto conocimiento que abrirá las puertas de la Ingeniería, la Biología, y otras áreas a la multidisciplinariedad, debido a la incidencia que tiene el diseño no solo en la fabricación de productos sino también, en la definición de procesos de fabricación y la investigación posterior.

Las investigaciones realizadas principalmente por Bochet y García-Fayos (2004) han sido de mucha ayuda debido a las particularizaciones que establecen frente a la temática de revegetación y su relación con la estabilización de taludes especialmente en España. En Colombia, poco se ha evidenciado debido a la falta de publicación y divulgación de proyectos de esta índole. De una u otra manera las empresas mismas se han encargado de realizar sus investigaciones y de presentar resultados de tipo comercial, mas no, de índole investigativo para poder ahondar en el tema.

En el proyecto se evidencia el aprovechamiento de residuos agrícolas para desarrollar una manta biodegradable que contribuya a la conservación de las propiedades de los taludes que en el presente trabajo se plantea como caracterización experimental inicialmente, para luego, servir de base investigativa a líneas de investigación futuras, con las cuales realizar desarrollos tecnológicos y productivos en el tema investigado.

Esta investigación abarca cinco capítulos, el primero comprende el planteamiento de la situación problemática y su formulación, también se describen los objetivos y el impacto del estudio; el segundo es el fundamento teórico a través de antecedentes y estudios previos que orienta la investigación y que en este caso, sustenta y valida los hallazgos y conclusiones; en el tercero, se desarrolla y expone la metodología y técnicas para recolectar, organizar y analizar los datos; en el cuarto, se presentan los resultados a la luz de los experimentos realizados; finalmente en el quinto se declaran las conclusiones a las cuales se llega con la investigación y se establecen una recomendaciones pertinentes para la continuidad del proyecto en otros ámbitos tanto académicos como productivos.

Por lo anterior, se define la presente investigación como de tipo experimental en donde se emplean materiales de la región, se determinan sus propiedades y comportamientos a través de diferentes procesos físicos, químicos y mecánicos; adicionalmente, se identifican las condiciones óptimas del material seleccionado, el cual posteriormente es utilizado en la elaboración de una manta biodegradable con la que se puedan conservar las propiedades de los taludes.

CAPITULO 1. SITUACION-PROBLEMA

1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACION

En Colombia se presentan continuos deslizamientos ya sea por deforestaciones, accionar de maquinaria para trabajo en vías, erosión, entre otras.²

Las condiciones climáticas de lluvia y viento constantes, hacen que en especial la erosión, cause derrumbes de montañas donde se ha aplicado tratamientos mecánicos (taludes) o agrícolas (siembras, reforestaciones, entre otras)

Por lo anterior, se debe intervenir sobre esta problemática brindando diferentes opciones para proteger dichos taludes (revegetando, protegiendo, estabilizando) o mitigando la erosión que se presente en el momento.

Parte de la problemática presente es la utilización de elementos que permiten estabilizar de alguna manera dichos taludes pero con materiales que nos son amigables con el medio ambiente, para lo cual el aprovechamiento al máximo de los distintos residuos generados por cualquier proceso, especialmente el agrícola, es prioritario para la investigación y así, de esta manera, hallar nuevas formas de uso para estos.

Este proyecto pretende evaluar los residuos agrícolas de la región del Tundama en el departamento de Boyacá, y con el material seleccionado desarrollar una manta biodegradable desde un enfoque experimental con la que se puedan conservar las propiedades de los taludes, y así, poder determinar si es posible la utilización de residuos para el desarrollo de este tipo de proyectos.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Qué tipo de manta biodegradable se puede obtener a partir del análisis y evaluación de los residuos orgánicos agrícolas de la región del Tundama en el Departamento de Boyacá?

² Tomado de <http://www.mineducacion.gov.co/cvn/1665/w3-article-236521.html> Consultado el 18/10/2010.

1.3. HIPOTESIS

Una manta biodegradable construida a partir de residuos agrícolas de la región del Tundama, en el Departamento de Boyacá, posibilita la conservación de las características propias de los taludes a través de un recubrimiento natural, contribuyendo de cierta forma a su estabilización, mediante el uso y aprovechamiento de recursos implícitos en el medio.

1.4. OBJETIVOS

META:

- Brindar ayudas medioambientales a problemas de deslizamiento de taludes presentes en tramos viales, zonas de vivienda y espacios ecológicos.

1.4.1. Objetivo general

Diseñar una manta biodegradable de tipo experimental que permita el mejoramiento de las características de taludes, a partir de la evaluación de los residuos orgánicos agrícolas generados en la región del Tundama en el departamento de Boyacá.

1.4.2. Objetivos específicos

- Identificar los residuos agrícolas propicios para la fabricación de la manta experimental teniendo en cuenta niveles de producción, cultivos, entre otros.
- Elaborar una manta experimental con el residuo orgánico seleccionado para determinar características comportamentales a nivel productivo y ambiental.
- Verificar el funcionamiento de la manta para el control de taludes en el contexto establecido.

1.5. IMPACTOS

Un buen resultado en la implementación de este proceso tendría como sus directos beneficiarios a los industriales del sector vial y a su vez el sector agrícola, ya que les permitiría reducir los deslizamientos de taludes mediante la aplicación de residuos de procesos agrícolas en las mantas biodegradables, lo cual podría generar, mediante una gestión organizada, una alternativa económica.

El proyecto a realizar resulta beneficioso para todas aquellas personas y/o empresas que de una u otra manera hayan sido afectadas por algún tipo de deslizamiento ocasionado por condiciones mecánicas y/o ambientales.

El proyecto contribuye a la conservación del medio ambiente ya que, debido al enfoque biosistémico establecido, se propenderá por el correcto uso y gestión eficaz de recursos naturales y reutilizables (materiales naturales por desecho, aglomerantes naturales, entre otros.).

La entrada de profesionales del diseño y la ingeniería en ámbitos novedosos en donde la academia guiará el desarrollo de diferentes proyectos enfocados a la gestión ambiental, cuidado de los recursos y sostenibilidad, permitiendo así las mejoras a futuro.

CAPITULO 2. ANTECEDENTES

2.1. TALUDES

2.1.1. Definiciones

El talud es una masa de tierra que no es plana sino que posee pendiente o cambios de altura significativos. En la literatura técnica se define como ladera cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y talud cuando se conformó artificialmente (Suárez 2001).

Las laderas que han permanecido estables por muchos años pueden fallar en forma imprevista debido a cambios topográficos, sismicidad, flujos de agua subterránea, cambios en la resistencia del suelo, meteorización o factores de tipo antrópico o natural que modifiquen su estado natural de estabilidad. Los taludes se pueden agrupar en tres categorías generales: Los terraplenes, los cortes de laderas naturales y los muros de contención. Además, se pueden presentar combinaciones de los diversos tipos de taludes y laderas. En el talud o ladera se definen los siguientes elementos constitutivos: altura, pie, cabeza o escarpe, altura de nivel freático y pendiente. (Ver Fig 1).

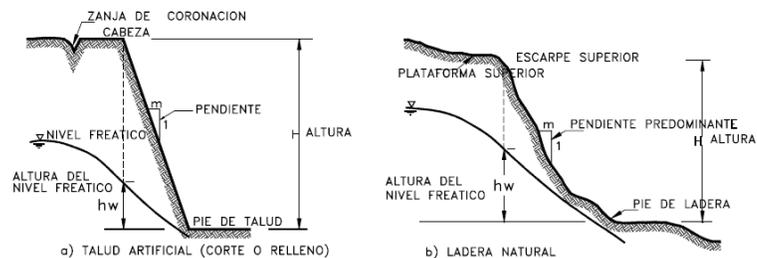


Figura 1. Nomenclatura de taludes y laderas.

Fuente: Wyllie D.C. , Norrish N.I. (1996).

1. Altura

Es la distancia vertical entre el pie y la cabeza, la cual se presenta claramente definida en taludes artificiales pero es complicada de cuantificar en las laderas debido a que el pie y la cabeza no son accidentes topográficos bien marcados.

2. Pie

Corresponde al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte inferior.

3. Cabeza o escarpe

Se refiere al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior.

4. Altura de nivel freático

Distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua medida debajo de la cabeza.

5. Pendiente

Es la medida de la inclinación del talud o ladera. Puede medirse en grados, en porcentaje o en relación m/1, en la cual m es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical.

Ejemplo: Pendiente: 45o, 100%, o 1H:1V. Existen, además, otros factores topográficos que se requiere definir como son longitud, convexidad (vertical), curvatura (horizontal) y área de cuenca de drenaje, los cuales pueden tener influencia sobre el comportamiento geotécnico del talud.

2.1.2. Etapas en el proceso de falla

La clasificación de deslizamientos pretende describir e identificar los cuerpos que están en movimiento relativo. Las clasificaciones existentes son esencialmente geomorfológicas y solamente algunas de ellas introducen consideraciones mecánicas o propiamente geológicas.

Las caracterizaciones geotécnicas son necesarias y por esta razón, las clasificaciones eminentemente topográficas y morfológicas, como las propuestas por Varnes (1978), Hutchinson (1988), etc., deben adaptarse a las condiciones verdaderas de los movimientos.

Según lo anterior se deben considerar cuatro etapas diferentes en la clasificación de los movimientos:

- a. Etapa de deterioro o antes de la falla donde el suelo es esencialmente intacto.
- b. Etapa de falla caracterizada por la formación de una superficie de falla o el movimiento de una masa importante de material.
- c. La etapa post-falla que incluye los movimientos de la masa involucrada en un deslizamiento desde el momento de la falla y hasta el preciso instante en el cual se detiene totalmente.
- d. La etapa de posible reactivación en la cual pueden ocurrir movimientos que pueden considerarse como una nueva falla, e incluye las tres etapas anteriores.

2.1.3. Métodos para disminuir o eliminar el riesgo

Una vez estudiado el talud, definidos los niveles de amenaza y riesgo, el mecanismo de falla y analizados los factores de equilibrio, se puede pasar al objetivo final que es el diseño del sistema de prevención control o estabilización.

A continuación se presentan algunas de las alternativas que se han utilizado para disminuir o eliminar el riesgo a los deslizamientos de tierra:

Prevención

La prevención incluye el manejo de la vulnerabilidad, evitando la posibilidad de que se presenten riesgos o amenazas. La prevención debe ser un programa del estado, en todos sus niveles mediante una legislación y un sistema de manejo de amenazas que permita disminuir los riesgos a deslizamiento en un área determinada.

Elusión de la Amenaza

Eludir la amenaza consiste en evitar que los elementos en riesgo sean expuestos a la amenaza de deslizamiento.

Control

Métodos tendientes a controlar la amenaza activa antes de que se produzca el riesgo a personas o propiedades. Generalmente, consisten en estructuras que retienen la masa en movimiento. Este tipo de obras se construyen abajo del deslizamiento para detenerlo después de que se ha iniciado.

Estabilización

La estabilización de un talud comprende los siguientes factores:

1. Determinar el sistema o combinación de sistemas de estabilización más apropiados, teniendo en cuenta todas las circunstancias del talud estudiado.
2. Diseñar en detalle el sistema a emplear, incluyendo planos y especificaciones de diseño.
3. Instrumentación y control durante y después de la estabilización.

Debe tenerse en cuenta que en taludes, nunca existen diseños detallados inmodificables y que las observaciones que se hacen durante el proceso de construcción tienden generalmente, a introducir modificaciones al diseño inicial y esto debe preverse en las cláusulas contractuales de construcción.

Los sistemas de estabilización se pueden clasificar en cinco categorías principales:

1. Conformación del talud o ladera

Sistemas que tienden a lograr un equilibrio de masas, reduciendo las fuerzas que producen el movimiento. (Ver Tabla 1).

Método	Ventajas	Desventajas
Remoción de materiales de la cabeza del talud.	Muy efectivo en la estabilización de deslizamientos rotacionales.	En movimientos muy grandes las masas a remover tendrían una gran magnitud.
Abatimiento de la pendiente .	Efectivo especialmente en suelos friccionantes.	No es viable económicamente en taludes de gran altura.
Terraceo de la superficie.	Además de la estabilidad al deslizamiento, permite construir obras para controlar la erosión.	Cada terraza debe ser estable independientemente.

Tabla 1. Métodos de conformación topográfica para equilibrar fuerzas
Fuente: Holtz R.D., Schuster R.L. (1996)

2. Recubrimiento de la superficie

Métodos que tratan de impedir la infiltración o la ocurrencia de fenómenos superficiales de erosión, o refuerzan el suelo más subsuperficial. El recubrimiento puede consistir en elementos impermeabilizantes como el concreto o elementos que refuercen la estructura superficial del suelo como la cobertura vegetal. (Ver Tabla 2).

Método	Ventajas	Desventajas
Recubrimiento de la superficie del talud.	El recubrimiento ayuda a controlar la erosión.	Se debe garantizar la estabilidad del recubrimiento.
Conformación de la superficie.	Puede mejorar las condiciones del drenaje superficial y facilitar el control de erosión.	Su efecto directo sobre la estabilidad es generalmente, limitado.
Sellado de grietas superficiales.	Disminuye la infiltración de agua.	Las grietas pueden abrirse nuevamente y se requiere mantenimiento por periodos importantes de tiempo.
Sellado de juntas y discontinuidades.	Disminuye la infiltración de agua y presiones de poro en las discontinuidades	Puede existir una gran cantidad de discontinuidades que se requiere sellar .
Cobertura vegetal. Arboles Arbustos y Pastos	Representan una alternativa ambientalmente excelente . (Ver capítulo 8)	Pueden requerir mantenimiento para su establecimiento.

Tabla 2. Métodos de recubrimiento de la superficie del talud
Fuente: Holtz R.D., Schuster R.L. (1996)

3. Control de agua superficial y subterránea

Sistemas tendientes a controlar el agua y sus efectos, disminuyendo fuerzas que producen movimiento y / o aumentando las fuerzas resistentes. (Ver Tabla 3).

Método	Ventajas	Desventajas
Canales superficiales para control de escorrentía.	Se recomienda construirlos como obra complementaria en la mayoría de los casos. Generalmente, las zanjas se construyen arriba de la corona del talud.	Se deben construir estructuras para la entrega de las aguas y disipación de energía.
Subdrenes de zanja.	Muy efectivos para estabilizar deslizamientos poco profundos en suelos saturados subsuperficialmente.	Poco efectivos para estabilizar deslizamientos profundos o deslizamientos con nivel freático profundo.
Subdrenes horizontales de penetración.	Muy efectivos para interceptar y controlar aguas subterráneas relativamente profundas.	Se requieren equipos especiales de perforación y su costo puede ser alto.
Galerías o túneles de subdrenaje.	Efectivos para estabilizar deslizamientos profundos en formaciones con permeabilidad significativa y aguas subterráneas.	Muy costosos.
Pozos profundos de subdrenaje.	Útiles en deslizamientos profundos con aguas subterráneas. Efectivos para excavaciones no permanentes.	Su uso es limitado debido a la necesidad de operación y mantenimiento permanente.

Tabla 3. Métodos de control de agua y presión de poros
Fuente: Holtz R.D., Schuster R.L. (1996)

4. Estructuras de contención

Son métodos en los cuales se van a colocar fuerzas externas al movimiento aumentando las fuerzas resistentes, sin disminuir las actuantes. Las estructuras de contención son obras generalmente masivas, en las cuales el peso de la estructura es un factor importante y es común colocar estructuras ancladas en las cuales la fuerza se transmite al deslizamiento por medio de un cable o varilla de acero. Cada tipo de estructura tiene un sistema diferente de trabajo y se deben diseñar de acuerdo a su comportamiento particular. (VerTabla 4).

Método	Ventajas	Desventajas
Relleno o bermas de roca o suelo en la base del deslizamiento.	Efectivos en deslizamientos no muy grandes especialmente en los rotacionales actuando como contrapeso.	Se requiere una cimentación competente para colocar el relleno.
Muros de contención convencionales, de tierra armada etc.	Útiles para estabilizar masas relativamente pequeñas.	Se requiere una buena calidad de cimentación. Son poco efectivos en taludes de gran altura.
Pilotes	Son efectivos en movimientos poco profundos, en los cuales existe suelo debajo de la superficie de falla que sea competente para permitir el hincado y soporte de los pilotes.	No son efectivos en deslizamientos profundos o cuando aparece roca o suelo muy duro debajo de la superficie de falla. Poco efectivos en deslizamientos rotacionales.
Anclajes o pernos	Efectivos en roca, especialmente cuando es estratificada.	Se requieren equipos especiales y son usualmente costosos.
Pantallas ancladas	Útiles como estructuras de contención de masas de tamaño pequeño a mediano.	Existen algunas incertidumbres sobre su efectividad en algunos casos, especialmente, cuando hay aguas subterráneas y son generalmente costosas.

Tabla 4. Métodos de estructuras de contención
Fuente: Holtz R.D., Schuster R.L. (1996)

5. Mejoramiento del suelo

Métodos que aumenten la resistencia del suelo. Incluyen procesos físicos y químicos que aumentan la cohesión y/o la fricción de la mezcla suelo-producto estabilizante o del suelo modificado. (Ver Tabla 5).

Método	Ventajas	Desventajas
Inyecciones o uso de químicos.	Endurecen el suelo y pueden cementar la superficie de falla.	La disminución de permeabilidad puede ser un efecto negativo.
Magmaficación	Convierte el suelo en roca utilizando rayos especiales desarrollados por la industria espacial.	Su utilización en la actualidad es solamente para uso experimental.
Congelación.	Endurece el suelo al congelarlo.	Efectos no permanentes.
Electro-osmosis.	Reducen el contenido de agua .	Utilización para estabilización no permanente.
Explosivos.	Fragmenta la superficie de falla.	Su efecto es limitado y puede tener efectos negativos.

Tabla 5. Métodos para mejorar la resistencia del suelo
Fuente: Holtz R.D., Schuster R.L. (1996)

2.2. CONSERVACIÓN DE TALUDES

La construcción de carreteras y otras obras públicas produce impactos ambientales severos que afectan a las propiedades de los ecosistemas. Los taludes generados en estas obras presentan escasas coberturas vegetales y el establecimiento de la vegetación, tanto de forma natural como a través de restauraciones, es muy lento.

Al igual que en otros ambientes, en los taludes de carreteras la colonización se ve limitada por la restringida capacidad de dispersión de algunas semillas, por lo que estas laderas son colonizadas principalmente por especies provenientes de áreas cercanas y/o por especies capaces de dispersarse a larga distancia. Pero existen una serie de limitaciones edáficas que hacen que, aunque muchas semillas sean capaces de llegar a los taludes, la colonización no se produzca.

El tipo de talud y su orientación influyen en la colonización, aumentando la cobertura vegetal en la siguiente dirección: desmontes sur, desmontes norte, terraplenes sur y terraplenes norte. En general, las propiedades físicas y químicas de las zonas alteradas no son adecuadas para el establecimiento de la vegetación, ya que presentan suelos poco fértiles (escasez de nutrientes y de materia orgánica), de texturas poco equilibradas y/o pedregosos.

En los desmontes, las malas condiciones edáficas se acentúan, llegando a niveles de compactación de 1500 Mpa, que sobrepasan el umbral a partir del cual las raíces de las plantas son incapaces de penetrar. Pero el factor que más limita y modula la colonización vegetal en taludes de carreteras en ambientes generalizados es el estrés hídrico³. El suelo de los taludes de carreteras tiende a secarse más rápidamente en los desmontes y en las caras sur, siguiendo el mismo patrón que la cobertura vegetal.

Estas diferencias hídricas podrían explicar las diferencias en cobertura vegetal entre tipos y orientaciones de taludes. De hecho, las especies que son capaces de colonizar los taludes de carreteras de forma abundante son capaces de germinar en condiciones de menor disponibilidad de agua y más rápidamente que las que no son capaces de colonizarlos, lo que les permite aprovechar las breves ventanas de disponibilidad de agua que producen los episodios lluviosos.

Por otro lado, los taludes de carretera, con pendientes elevadas y escasa cobertura vegetal, sufren a menudo graves problemas de erosión, siguiendo los valores de erosión una pauta inversa a la de los valores de cobertura vegetal. Esto haría pensar que la erosión está impidiendo la colonización al arrastrar las semillas. No obstante, aunque la erosión tenga una influencia en la pérdida de semillas por arrastre, la ausencia de diferencia en la densidad del banco de semillas del suelo entre desmontes y terraplenes indica que la erosión limita la colonización de los taludes sobre todo por el deterioro que produce en las propiedades edáficas relevantes para la germinación y establecimiento de las plantas (p. ej. disminuyendo la fertilidad o incrementando el déficit hídrico). Tratamientos como el uso de tierra vegetal o la aplicación de mulches pueden atenuar las condiciones limitantes y aceleran la colonización vegetal.

Además, en desmontes, se han obtenido resultados prometedores utilizando tratamientos que disminuyen la compactación, mejoran las condiciones del suelo localmente y permiten la penetración de las raíces. El conocimiento de las limitaciones a la colonización vegetal en los distintos tipos de taludes de carreteras y del beneficio de determinados tratamientos para el establecimiento de las plantas ha de permitir optimizar el uso de los recursos según las necesidades de cada zona a restaurar y de elaborar consecuentemente planes de revegetación con garantías de éxito.

2.2.1. Tipos de taludes

Se dividen en desmontes y terraplenes.

³ Tormo J., Bochet E., García-Fayos P. (2009). Restoration and revegetation of road slopes in semiarid Mediterranean environments: edaphic processes determining success. *Ecosistemas* 18(2):79-90.

2.2.1.1. Desmontes

Son taludes excavados en la roca madre, sea esta roca consolidada o no, para hacer pasar la carretera o vía férrea por debajo del nivel del terreno. (Ver Fig 2).



Figura 2. Desmontes
Fuente: Autor.

2.2.1.2. Terraplenes

Son construidos para elevar la carretera por encima del nivel del terreno original y en los que el suelo se ha “creado” aportando tierra y, en muchos casos, se cubre total o parcialmente con suelo superficial previamente apartado durante las obras (tierra vegetal). (Ver Fig 3).



Figura 3. Terraplenes
Fuente: Autor

De manera general, la pendiente de los terraplenes es menor que la de los desmontes, lo que con la tierra aportada, los convierte en un ambiente más propicio que los desmontes para la colonización vegetal, y esto se refleja en el número de especies presentes (Matesanz et al. 2006) y en la cobertura vegetal (Bochet y García-Fayos 2004) (Ver Fig. 4). En desmontes con pendientes superiores a los 45º la colonización vegetal es prácticamente nula (1.6% de cobertura vegetal, según Bochet y García-Fayos 2004).

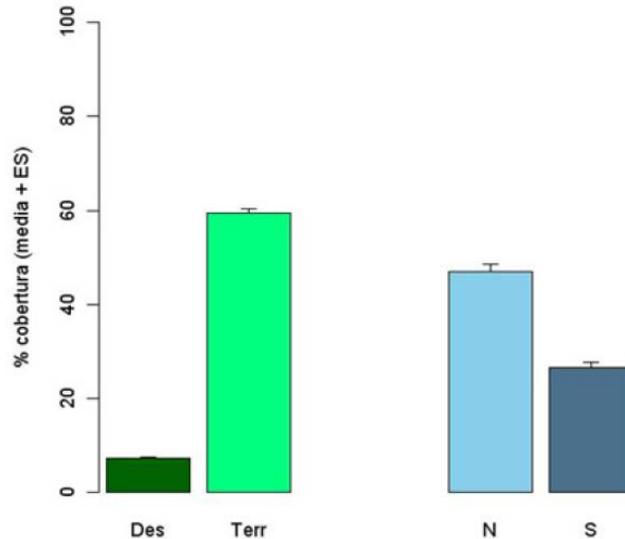


Figura 4. Coberturas vegetales medias (media + error típico)
Fuente: Bochet y García-Fayos, 2004.

Desde el punto de vista de la colonización vegetal se considera que existen dos grandes grupos de factores que controlan la aparición de especies de plantas en nuevos espacios donde previamente faltaban y son: la limitación por semillas y la limitación por las condiciones de establecimiento.

Limitación por semillas

Partiendo de un área con unas condiciones ecológicas determinadas y una serie de especies presentes en la región que potencialmente pueden colonizarla por estar adaptadas a dichas condiciones, no todas estas especies potenciales aparecen en ese hábitat porque 1) su capacidad de dispersión no es suficiente como para que estén presentes en todos los lugares donde podrían estarlo o 2) al llegar a dichos hábitats son consumidas o 3) se pierden por arrastre u otros mecanismos.

Limitaciones en el establecimiento

Una vez dispersas, las semillas que llegan a los taludes de carreteras se deben enfrentar a una serie de factores que pueden impedir su establecimiento y entre ellos se encuentran principalmente:

- Propiedades físicas y/o químicas de los sustratos de los taludes
- Disponibilidad de agua en el suelo
- Erosión

En todo caso, en taludes de carreteras es conveniente diferenciar entre desmontes y terraplenes a la hora de hablar de propiedades de suelo, ya que a estas limitaciones citadas hasta ahora para los taludes en general, hay que añadir las limitaciones propias de los desmontes, en los que se registran menores coberturas vegetales (Bochet y García-Fayos 2004,). Uno de los factores principales que limitan la colonización es sencillamente la falta de sustrato hábil para el establecimiento de las plantas. En muchos casos, estos taludes están formados por roca madre muy consolidada y nada o poco meteorizada, carente totalmente de lugares para el enraizamiento de las plantas (Yuan et al. 2006).

2.3. RESIDUOS AGRICOLAS

Los residuos orgánicos son aquellos que tienen las características de poder desintegrarse o degradarse rápidamente transformándose en otro tipo de materia orgánica, es decir son biodegradables (naturalmente).

Para Vargas (*et al*,2005), los residuos orgánicos incorporados al suelo desempeñan dos funciones de singular importancia. Por una parte, constituyen una fuente fundamental de nutrientes (Sodio, Fósforo, Azufre, Potasio y microelementos), como consecuencia de los procesos de descomposición y mineralización que sufren y por otra, contribuyen a definir las propiedades químicas y físicas del suelo.

En Colombia, la mayoría de los residuos orgánicos producidos en los cultivos, no se queman. Estos son utilizados principalmente para el ganado y otros animales domésticos o reincorporados al suelo durante la época de preparación de la tierra para el cultivo.

A continuación se presenta la información relevante acerca de la producción agrícola determinada en el departamento de Boyacá (Ver Fig 5), de la cual es parte fundamental la definición de los principales productos a ser tenidos en cuenta para el desarrollo del proyecto. (Ver Tabla 6).

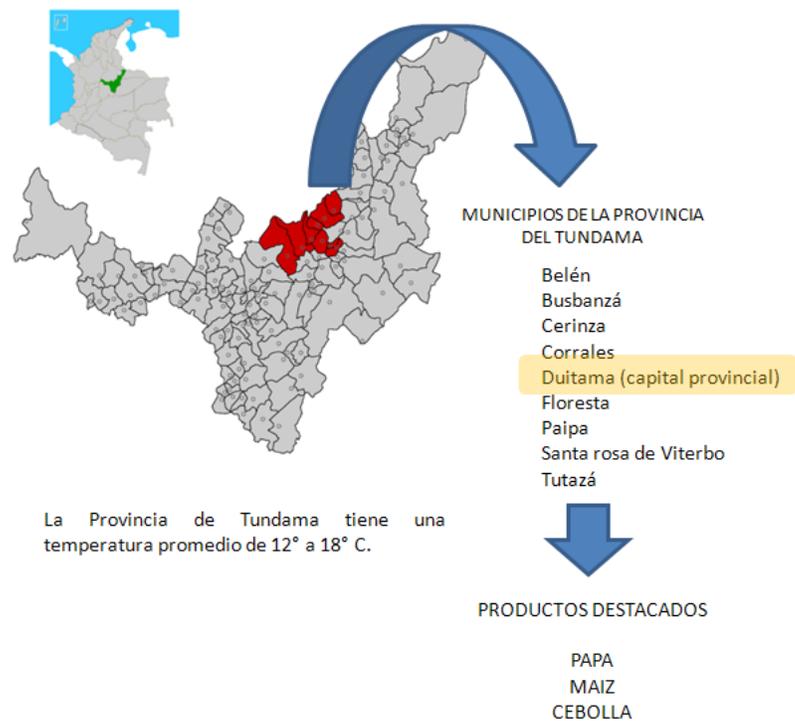


Figura 5. Ubicación Geográfica Area de Estudio
Fuente: Autor

Cultivo	Producción (toneladas)	%
Papa	579.027	93,26%
Maíz tradicional	22.133	3,56%
Trigo	10.417	1,68%
Frijol	6.515	1,05%
Cebada	1.796	0,29%
Tabaco rubio	848	0,14%
Maní	166	0,03%
Cultivos Transitorios	620.902	100%
Caña panela	265.293	76,52%
Plátano	33.737	9,73%
Caña miel	21.778	6,28%
Yuca	21.461	6,19%
Arracacha	3.615	1,04%
Tabaco negro	376	0,11%
Cacao	366	0,11%
Fique	79	0,02%
Cultivos Permanentes	346.704	100,0%
TOTAL	967.606	100,0%

Tabla 6. Producción en toneladas de los principales cultivos en Boyacá, 2005 (sin contar café)
Fuente: DNP - Dirección de Desarrollo Rural Sostenible con base en evaluaciones Agropecuarias de las URPA y UMATA. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - Dirección de Política Sectorial - Grupo Sistemas de Información. 2005

Es fundamental hacer claridad en los términos relacionados con la transitoriedad y la permanencia de cultivos (Ver Fig 6), para esto se define como cultivo transitorio el relacionado con plantas de carácter anual, bianual y plurianual, que carecen de valor como bienes raíces. El valor de estos cultivos no proviene de la planta en cuanto tal, sino del volumen y calidad del producto que ella ofrece en cada cosecha.⁴

Para los cultivos permanentes se relacionan plantas que en los primeros años de desarrollo son improductivos; luego producen cosechas durante muchos años y a bajo costo de mantenimiento. Por su prolongado período de producción tienen el carácter de bienes raíces (condición de inmuebles).⁵

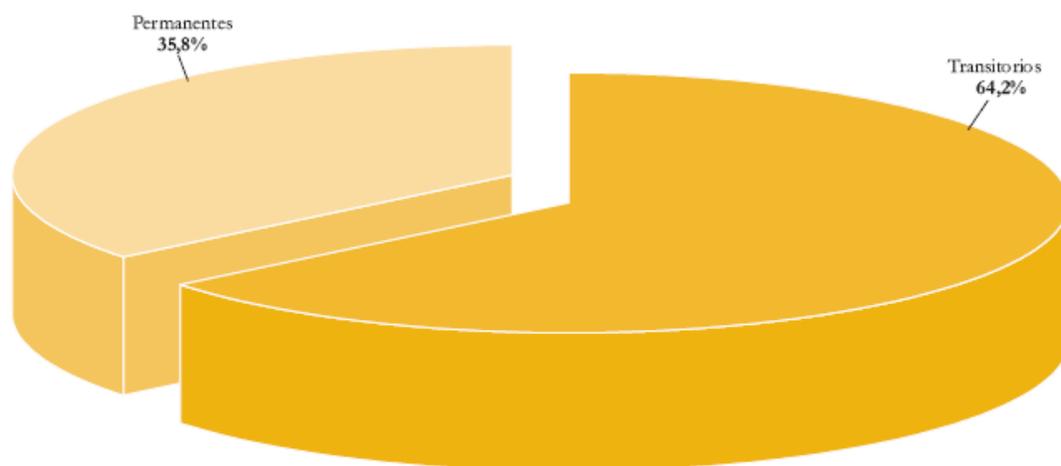


Figura 6. Participación por tipos de cultivo

Fuente: Banco de la República; DANE, Informe de coyuntura económica regional departamento de Boyacá, 2006.

En el Informe de Coyuntura Económica Regional del Departamento de BOYACÁ el primer semestre de 2006⁶, se puede observar estadísticas de producción anual del año 2005 en el sector de la agricultura dentro de los cuales se destacan en los más altos volúmenes de producción la caña panela, cebolla junca, cebolla bulba y el maíz. (Ver Tabla 7 y Tabla 8). Estableciendo un posible nivel alto de residuos en el proceso de producción.

⁴ Tomado de <http://ciencia.glosario.net/agricultura/cultivos-transitorios-10969.html>. Consultado el 18/03/2010

⁵ Tomado de <http://ciencia.glosario.net/agricultura/cultivos-transitorios-10968.html>. Consultado el 18/03/2010

⁶ Tomado del Informe de Coyuntura Económica Regional del Departamento de BOYACÁ el primer semestre de 2006 DANE.

Cultivos	Area cosechada hectáreas			Producción toneladas			Rendimiento Kg/hetáreas		
	Año			Año			Año		
	2004	2005	var%	2004	2005	var%	2004	2005	var%
Cultivos transitorios									
Arveja	6,785	6,331	-6.7	20,568	17,083	-16.9	3,032	2,698	-11.0
Cebada	1,210	1,168	-3.5	2,180	1,912	-12.3	1,801	1,637	-9.1
Cebolla B.	4,778	4,643	-2.8	127,172	115,344	-9.3	26,619	24,843	-6.7
Frijol	5,775	7,028	21.7	5,817	6,575	13.0	1,007	936	-7.1
Maíz	8,676	7,588	-12.5	11,465	10,229	-10.8	1,321	1,348	2.0
Habichuela	220	362	n.d	4,501	5,521	n.d	20,459	15,247	n.d
Tabaco Rubio	620	855	37.9	855	1,244	45.5	1,378	1,455	5.6
Tomate	558	512	-8.2	12,966	11,052	-14.8	23,244	21,573	-7.2
Trigo	5,327	5,883	10.4	9,639	9,366	-2.8	1,810	1,592	-12.0
Zanahoria	958	1,782	86.0	20,544	43,490	111.7	21,455	24,408	13.8

Tabla 7. Estadísticas de producción de cultivos transitorios en Boyacá.
Fuente: Secretaría de Agricultura, UMATA's, URPA – Boyacá. 2006.

Cultivos	Area cosechada hectáreas			Producción toneladas			Rendimiento Kg/hetáreas		
	Año			Año			Año		
	2004	2005	var%	2004	2005	var%	2004	2005	var%
Cultivos Permanentes									
Aguacate	97	101	4.1	892	892	0.0	9,196	8,832	-4.0
Breva	96	100	4.2	325	370	13.8	3,380	3,700	9.5
Café	9,828	9,329	-5.1	9,318	9,300	-0.2	948	2,914	207.4
Caña Miel	4,212	4,112	-2.4	19,809	21,681	9.5	4,703	5,273	12.1
Caña Panela	19,386	15,516	-20.0	260,778	182,528	-30.0	13,452	11,764	-12.5
Cebolla Jumca	4,635	3,975	0.0	140,400	159,750	0.0	30,291	40,189	32.7
Ciruela	420	1,011	140.7	11,458	10,498	-8.4	27,255	10,380	-61.9
Cítricos	2,139	1,919	-10.3	50,854	33,381	-34.4	23,775	17,397	-26.8
Curuba	988	1,104	11.7	12,305	13,496	9.7	14,454	12,225	-15.4
Durazno	558	682	22.2	5,419	7,324	35.2	9,716	10,741	10.5
Feijoa	154	151	-1.9	1,128	1,283	13.7	7,325	8,504	16.1
Fresa	30	41	36.7	600	820	36.7	20,000	20,000	0.0
Guayaba	2,024	1,657	-18.1	32,620	14,088	-56.8	16,116	8,502	-47.2
Manzana	430	398	-7.4	4,434	4,220	-4.8	10,306	10,745	4.3
Pera	1,209	1,205	-0.3	15,321	14,770	-3.6	12,673	12,257	-3.3
Plátano	4,396	3,850	-12.4	30,046	27,391	-8.8	6,835	7,114	4.1
Tomate Árbol	313	280	-10.5	4,659	3,893	-16.4	14,893	13,899	-6.7

Tabla 8. Estadísticas de producción de cultivos permanentes en Boyacá.
Fuente: Secretaría de Agricultura, UMATA's, URPA – Boyacá. 2006.

De lo anterior, se determina que los productos agrícolas como el maíz o la caña, entre otros, se les dispone finalmente como: Alimento para ganado, desarrollo de compost y relleno.

2.3.1. APLICACIONES DEL MAÍZ

El maíz es una planta principalmente utilizada para la alimentación. Una mazorca de maíz y/o los granos contienen aproximadamente 5% de aceite el cual el 80% está concentrado en el germen. El contenido de proteína del maíz es del 10% (Asiedu *et al.* 1993:352), y es muy bajo en recursos minerales. El valor nutricional de grasa del maíz es limitado en el

contenido de triglicéridos, ácidos grasos y vitaminas solubles en grasa. El grano de maíz moderno contiene aproximadamente 5% de lípidos.

Cuatro principales ácidos grasos han sido identificados y se ha comprobado que los contiene en grandes proporciones estos son: ácido palmítico (16:0), ácido oleico (18:1w9) y linoleico (18:2w3; Asiedu *et al.* 1993:353). Esta composición grasosa es común entre la familia de las gramíneas.

Un lípido se define como un grupo de compuestos que son solubles en solventes orgánicos y no solubles en agua (deMan 1990:36). Esta característica hace que los lípidos tengan un alto potencial de sobrevivencia a lo largo del tiempo.

El maíz dentro de su uso principal como alimento, se ha considerado un producto agrícola susceptible de investigación desde diferentes ámbitos, principalmente el uso del almidón en la fabricación de películas biodegradables. Estas películas dan transparencia, flexibilidad y dureza. Las películas elaboradas con biopolímeros y adición de plastificantes comerciales, aumentan sustancialmente la biodegradabilidad y mejoran las propiedades mecánicas y de barrera de los productos que protegen. Con los biopolímeros naturales renovables se abre la posibilidad de producir recubrimientos y empaques biodegradables a partir de materias primas autóctonas de Latinoamérica con destino a la protección de alimentos y otros usos agroindustriales.

El almidón es otra materia prima en abundancia, específicamente el que proviene del maíz, tiene propiedades termoplásticas cuando se realiza la disrupción estructural a nivel molecular. La presencia de amilosa en un 70% en almidones de amilo-maíz da una estructura fuerte y más flexible a la película. La estructura ramificada de la amilopectina generalmente le da a la película pobres propiedades mecánicas. La zeína es una fracción proteica del maíz, puede formar películas en soluciones acuosalcohólicas duras, vidriosas y con gran resistencia (Ryu *et al.*, 2002; Wang *et al.*, 2003), y con la adición de un polialcohol se mejora el esfuerzo de tensión.

Las investigaciones en plásticos biodegradables basadas en almidón se iniciaron desde 1970 y continúan actualmente en varios laboratorios del mundo. Las tecnologías que aún se siguen desarrollando, están relacionadas con la incorporación del gránulo de almidón o almidón en forma gelatinizada a las formulaciones de las películas fabricadas en procesos de compresión, extrusión soplado, extrusión de un sólo tornillo o doble tornillo y moldeo por inyección (Blacido *et al.*, 2005; Parra *et al.*, 2004).

El problema que han presentado las películas fabricadas con almidón es la sensibilidad a la humedad, la cual se ha reducido utilizando en las formulaciones polivinil alcohol (PVA), glicerina, sorbitol, bases nitrogenadas, etc. (Shamekin *et al.*, 2002; Smits *et al.*, 2003; Finkenstadt y Willett, 2004; Yu, 2004; Acosta *et al.*, 2006). La plastificación del gránulo de

almidón nativo o almidón hidrolizado se obtiene por la disrupción estructural que resulta de una disminución de los cristales durante el proceso de extrusión y la acción del plastificante, emergiendo un nuevo tipo de material conocido como almidón termoplástico (TPS) (Acosta *et al.*, 2005; Villada, 2005).

Igualmente, se han realizado estudios en TPS hechos a partir de amilosa y amilopectina; en éstos se analizaron las propiedades de barrera, las cuales mostraron una alta permeabilidad al O₂ y disminución al vapor de agua en TPS de amilosa comparados con los elaborados a partir de amilopectinas. (Forssell *et al.*, 2002; Dole *et al.*, 2004; Jansson y Thuvander, 2004; Blacido *et al.*, 2005).

La adición de polímeros naturales como el almidón al interior del polietileno (polímero sintético), en forma granular entre un 6 y el 30%, es otra aproximación en la fabricación de los empaques biodegradables. Las películas de almidón y polietileno de baja densidad (LDPE) contienen hasta un 30% de almidón, mostrándose como un material parcialmente biodegradable. Otra aplicación del almidón es la combinación en forma gelatinizada en proporciones entre el 30 y el 70% mezclado con polímeros sintéticos igualmente gelatinizados, como el caso de polivinilalcohol en proporciones variando entre 10% y 20% (Muratore *et al.*, 2005).

Existen en el mercado diferentes productos hechos de polímeros sintéticos y almidón gelatinizado comercializados por Mater-Bi® (Hanna, 2004). Sin embargo, hoy ambos tipos de material no se pueden considerar como compuestos completamente biodegradables (Pedroso y Rosa, 2005). Los envases plásticos de almidón formados a partir de espumas por mezclas de almidón con ácido poliláctico son usados como material de relleno que amortigua y protege contra golpes y vibraciones durante el transporte (Peesan *et al.*, 2005; Xu *et al.*, 2005).

Otros usos del maíz son:

- Alimentos balanceados para animales
- Stock de semillas
- Sémola y harina (Subproductos de fermentación)
- Granos
- Aceite (Subproductos Biodiesel)
- Papeles y cartulinas (Se utilizan los almidones con varios niveles de viscosidad para mejorar la resistencia físico-mecánica del papel).

- Productos Farmacéuticos y Cosméticos (El almidón del maíz es utilizado en la formulación de pastillas, tabletas, comprimidos, jarabes, cremas, entre otros).
- Pegamentos (Se fabrican a base de dextrinas, especialmente estabilizados para tener una larga vida útil).

2.3.2. Aplicaciones de la cáscara de papa

Al igual que el maíz, su principal utilización está en el sector alimenticio. Por lo anterior, el Proyecto realizado por un grupo de estudiantes de la Institución “Dionisio Manco Campos” de Mala-Cañete (Región costera de Perú) en el 2008, definió como objetivos: *difundir y dar a conocer el valor nutricional y medicinal de la cáscara de papa, así como aumentar la sostenibilidad ambiental y ayudar a garantizar la seguridad alimentaria en las zonas más pobres y marginadas utilizando este recurso “cáscara de papa” que para muchos es considerado como desecho orgánico.*

En estudios realizados en Perú por Llanos Córdova (2009) se determinó que la cáscara de la papa tiene acciones antioxidantes⁷, contribuyendo a retardar o prevenir la oxidación de otras moléculas.

En otras investigaciones, el extracto de la cáscara de la papa funcionó como antioxidante natural en la conservación de grasas y aceites, similar a la de otros antioxidantes sintéticos, sugiriendo su posible utilidad en diferentes productos alimenticios para prevenir la oxidación de lípidos y prolongar el tiempo de conservación de los mismos⁸.

2.3.3. Aplicaciones de los residuos de la cebolla larga

La contextualización de la cebolla larga de igual manera que los productos anteriores, está dada en el sector alimenticio.

⁷ Las variedades de papa que se analizaron en dicho estudio fueron *blanca, amarilla y rosada*. Dichas variedades posiblemente se asimilen a las encontradas en la región, particularmente en el altiplano cundiboyacense.

⁸ Tomado de <http://www.saludpublica.com/ampl/ampl14/04212002.htm>. Consultado el 16/05/2010.

Se ha trabajado principalmente en la potencialización de sus antioxidantes⁹, similar al desarrollo de las investigaciones de la cáscara de la papa.

Analizando las propiedades de la hoja de la cebolla larga o de rama, se ha encontrado que sirve como aditivo alimenticio¹⁰, aportando nutrientes a las diferentes dietas del día.

2.4. APLICACIONES DE MATERIALES NATURALES EN GEOTEXTILES, MANTAS Y SIMILARES

La aplicación de materiales y/o compuestos naturales permiten que se desarrolle una restauración ecológica de los mismos. Dicha restauración es concebida como el proceso basado en promover el restablecimiento de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido. Tiene como finalidad generar las condiciones ambientales y bióticas para que se recupere el sistema natural afectado y sea autosostenible.

2.4.1. Almidón Termoplástico

El Almidón Termoplástico (TPS: por sus siglas en inglés de Thermoplastic Starch), es compatible con el medio ambiente, es un material renovable y puede incorporarse al suelo como abono orgánico. La acumulación de materiales plásticos puede contribuir en cierta medida a la contaminación ambiental, aunque la mayoría de los materiales plásticos tradicionales son recalcitrantes (inertes al ataque microbiano), la contaminación que producen es fundamentalmente visual, es por ello que el interés hoy en día se ha dirigido al desarrollo de polímeros biodegradables obtenidos de recursos naturales renovables.

En la actualidad hay mucha investigación básica y aplicada sobre el almidón, por ser un polímero natural barato y abundante. El desarrollo y producción de almidón termoplástico biodegradable (TPS) se considera importante para reducir la cantidad total de desechos plásticos sintéticos en el mundo (Ma y Yu, 2004).

El TPS presenta varios atributos, además de su biodegradabilidad, es un material renovable, flexible y se puede acondicionar muy fácilmente a diferentes procesos de

⁹ Tomado de <http://isabelcontigo.blogspot.com/2009/04/las-propiedades-de-la-cebolla.html>. Consultado el 18/05/2010.

¹⁰ Tomado de <http://www.csa.com/discoveryguides/food/review4.php>. Consultado el 21/06/2010.

termoplastificación usando equipos estándar utilizados en la fabricación de polímeros sintéticos, tales como inyección por moldeo, extrusión por soplado, moldeo por inyección, moldeo por compresión, extrusión de película plana y radiación por moldeo (Van Soest et al., 1996b; Zhai et al., 2003), aunque se ha reportado la utilización de un nuevo método en la preparación de películas de almidón termoplástico usado en el cubrimiento de alimentos.

Este método se llama atomización electrohidrodinámica (EHDA) el cual es un proceso en el que la mezcla de almidón + plastificante es forzada a través de un capilar por la aplicación de una diferencia de potencial, del orden de kilovoltios, entre el capilar y la colección de electrodos, cuyo propósito es controlar el espesor y la uniformidad de la película (Pareta y Edirisinghe, 2006).

2.4.2. Geomalla con aplicaciones poliméricas sintéticas

Referente a la aplicación de membranas o mantas específicamente para la conservación de taludes, empresas de índole internacional han desarrollado aplicaciones galvanizadas y poliméricas sintéticas que permiten cierto grado de estabilidad debido a sus componentes elásticos (algunos plásticos como PVC o PP). Es el caso de *3-D Geomalla Typo ESM75*¹¹, es una geomalla para el refuerzo de taludes y márgenes fabricada con materiales naturales y sintéticos. La fibra de coco crea un microclima ideal para la rápida germinación de la semilla. Esta es la clave que permite y mejora el asentamiento rápido de la vegetación. (Ver Fig 7).



Figura 7. Geomalla Typo ESM75

Fuente:<http://www.bestmann-green-systems.es/3-D-Geomallen-Typo-ESM75.149.0.html>. 2006

¹¹ desarrollada por Bestmann Green Systems Iberica | BesTex® | <http://www.bestmann-green-systems.es/3-D-Geomallen-Typo-ESM75.149.0.html>. Consultado el 13 de enero de 2010.

Las fibras naturales de coco integradas en la geomalla son intrínsecamente más eficaces que los materiales sintéticos para reducir la erosión en las fases iniciales, ya que proporcionan un factor de cobertura muy alto (aproximadamente un 90%). La ESM75 presenta una triple malla de polipropileno que ofrece resistencia y duración que ayuda a asegurar el refuerzo de la vegetación a largo plazo. Ayuda a asentar y retener la vegetación ofreciendo, una zona permanente de refuerzo para los nuevos brotes.

2.4.3. Mallas de fibra de coco

Se han desarrollado mantas biodegradables a partir del análisis de fibras naturales como es el caso de la Red de coco Typo VG¹², Malla de fibra de coco (*Cocos nucifera*) biodegradable 100 % para la protección del suelo frente a la erosión que permite dentro de sus características: Consolidación de taludes con pendiente, protección del suelo frente a lluvias y retención y estabilización de sedimentos. (Ver Fig 8).



Figura 8. Malla de fibra de coco

Fuente: <http://www.bestmann-green-systems.es/Red-de-coco-Typo-VG.151.0.html>. 2006

2.4.4. Malla de Yute

Se han desarrollado mantas a partir del yute (*corchorus capsularis*) el cual facilita la plantación y mejora la eficacia del acolchado, cuenta con un empajado biodegradable, simplifica el mantenimiento de las plantaciones, economiza el agua reduciendo la

¹² **Desarrollada por** Bestmann Green Systems Iberica | BesTex® | <http://www.bestmann-green-systems.es/Red-de-coco-Typo-VG.151.0.html>. Consultado el 12 de enero de 2010.

evaporación, protege el suelo de la erosión y enriquece el suelo en humus al descomponerse. (Ver Fig 9).

Dicha membrana se desarrolló pensando en una manta antigerminante¹³ de yute con fibra de madera.



Figura 9. Malla de Yute

Fuente: http://www.bioklimanature.com/pdf/manta_yute.pdf . 2006

2.4.5. Rollizos y baldosas de pasto

El más aplicado de los procesos de revegetación y control de deslizamientos en el medio es el de forraje natural a través de los pastos, dependiendo de las condiciones existentes en el terreno y de las características del pasto utilizado. (Ver Fig 10).



Figura 10. Rollos y baldosas

Fuente: <http://www.topgrass.com/Catalogo%20Topgrass.pdf>. 2008

¹³ Desarrollada por Bioklimanature. http://www.bioklimanature.com/pdf/manta_yute.pdf . Consultado el 8 de enero de 2010.

2.4.6. Sistemas de control no naturales sobre taludes

Existen mallas galvanizadas como la de Triple Torsión, escuadrilla de 8 x 10 cms. de abertura, calibre 12.5 y 10 en las aristas y malla hexagonal (gallinero) de 25 mm. de abertura calibre 20, que permiten generar mayor control sobre los taludes pero necesitan mayor cuidado desde el punto de vista ambiental debido al material del que están dispuestas. (Ver Fig 11).



Figura 11. Malla Galvanizada

Fuente: <http://www.mallacasco.com/torsion.asp> 2007.

Las mallas para detener rocas (Barrett y White, 1991), permitieron iniciar el proceso de búsqueda de materiales que presentaran propiedades de resistencia frente a eventualidades ambientales de deslizamientos. (Ver Fig 12).

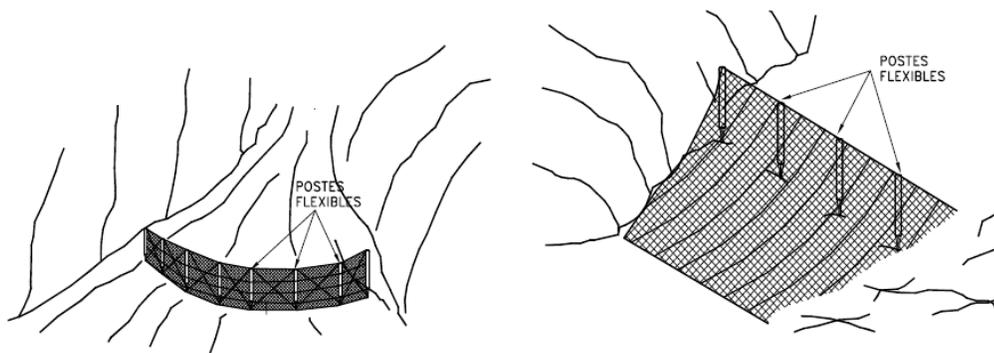


Figura 12. Mallas para detener rocas

Fuente: Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. 1997

2.4.7. Otros medios referentes

Durante los últimos años se ha venido desarrollando una cultura de evaluación y experimentación acerca de lo que es biodegradable y que puede llegar a constituir ciertos cambios de conciencia de índole productiva y medioambiental para lo cual D. Briassoulis (2007) propone que para el desarrollo de películas biodegradables (el término *película* se utiliza para segmentos de productos que van dirigidos hacia los alimentos) se deben tener en cuenta tres aspectos: materiales disponibles para su fabricación, su vida útil y las prestaciones mecánicas (estos aspectos aplican de igual manera para estudios geotécnicos referentes al estudio de productos para la conservación de taludes).

Se han desarrollado diferentes investigaciones acerca de la utilización de materiales agrícolas con el fin de identificar nuevos usos, como es el caso de la elaboración de películas biodegradables de almidón de plátano (Zamudio-Flores, *et.al.* 2005), teniendo en cuenta el creciente interés en los materiales biodegradables como el almidón, en sustitución a los materiales plásticos convencionales como el polietileno (PE), polipropileno (PP) y el poliestireno (PS).

En estudios realizados por Alvarado, Juan de Dios; Arancibia, Mirari Y. y Almeida, Alba V. (2005) se analizaron otro tipo de productos, en este caso, el camarón con el propósito de conocer la permeabilidad de las películas elaboradas con quitosano extraído de su caparazón.

En el desarrollo de mantas biodegradables, Cesar Juárez, Alejandro Durán y Pedro Valdez, Gerardo Fajardo (2005) evaluaron la fibra *Agave lecheguilla*, determinando propiedades de aglomeración con materiales para construcción (cemento portland), concluyendo así la posibilidad de usar materiales naturales en el desarrollo de nuevos materiales y usos aprovechando sus capacidades de tensión.

Según Contreras Medrano, V. (2003), Las mantas orgánicas consisten en un acolchado de paja, heno, fibra de coco o esparto, de mayor o menor densidad dependiendo de la zona en la que se va a instalar, cosido a una malla de yute o PP (polipropileno) fotodegradable, o no, que se presenta en rollos que se extienden sobre la superficie a tratar. Pueden ir acompañadas de una mezcla de semillas, en cuyo caso llevan en la parte posterior un papel especial que evita la pérdida de las semillas. Lo anterior demuestra la eficiencia de los productos netamente naturales y biológicos, pero permitiendo la interacción con productos industriales como el plástico.

Las mantas de paja se utilizan en superficies con problemas de erosión ligeros; las de coco o esparto, en pendientes muy acentuadas y con grandes riesgos de erosión; y las de mezcla de coco y paja, en terrenos con riesgo medio de erosión.

En el medio colombiano, uno de los pioneros en el desarrollo de tecnología para control de suelos, erosiones y taludes es la empresa PAVCO desarrolladora del manto de tejido abierto ECOMATRIX¹⁴ que es un producto flexible utilizado en las aplicaciones antes mencionadas; ha sido diseñado para mantener las semillas y suelo orgánico en su lugar hasta que la vegetación crezca. ECOMATRIX se podría definir como una malla de polipropileno de apariencia natural y de alta resistencia que protege la superficie del suelo de la erosión producida por eventos naturales tales como lluvias y vientos, ofreciendo a su vez sombrero parcial y almacenamiento de calor, para así favorecer el desarrollo de la vegetación.

2.4.7.1. Plásticos

Los plásticos sintéticos se han venido desarrollando por parte de la industria química desde las primeras décadas del siglo XX, teniendo un máximo impulso durante la II Guerra Mundial. Debido a su utilidad, el crecimiento de la industria del plástico ha sido muy elevado, generando avances, innovaciones y satisfacción de infinidad de necesidades, razones que convierten a los plásticos en un material de consumo masivo que está presente en gran cantidad de artículos de la actualidad.

La problemática generada por su uso intensivo radica en su baja biodegradabilidad (alta recalcitrancia) y, por consiguiente, en su elevada generación de residuos.

Debido a que son macromoléculas de gran estabilidad estructural, los plásticos son muy resistentes a las agresiones del medio, son livianos en comparación con otros materiales utilizados para los mismos fines y son de bajo costo debido a su alta producción en escala industrial, características que los hacen productos muy demandados por las empresas y los consumidores finales, como es el caso de las mallas plásticas fabricadas en polipropileno (PP) con tratamiento UV para protegerlas de la acción de los rayos ultravioleta y garantizar su duración.

A la misma velocidad con que los plásticos se demandan, también se desechan. Son productos cuya utilización como material de empaque para todo tipo de elementos ha sido muy exitosa, lo cual les representa un ciclo de vida muy corto y, por lo tanto, un alto volumen de eliminación.

¹⁴ Tomado de http://69.89.16.222/pdfs/manuales/man_pavco_ecomatrix_funciones_aplicaciones.pdf. 2008. Consultado el 20/02/2010

Alrededor de 100 millones de toneladas de plástico se producen cada año, de los cuales 40 millones son producidos únicamente por los Estados Unidos. Del total de esta gran cantidad de plásticos, alrededor del 30 % se usa en material de empaque, es decir, en material de rápido desecho que tiene una corta vida útil y va a parar a los rellenos sanitarios a permanecer allí por más de 100 años¹⁵.

Autores (Alemán Huerta, *et. al.* 2004) en diferentes estudios sobre las propiedades físicas de películas biodegradables y su posible aplicación como sistema de *mulching* (acolchado), se fundamentan inicialmente en el estudio de diferentes plásticos, los cuales perduran en la naturaleza por largos períodos de tiempo y por tanto se acumulan, generando así grandes cantidades de residuos sólidos. Como alternativa viable a esta problemática plantean los plásticos biodegradables, cuya característica principal es la de que se reincorporan al ecosistema. Estos pueden ser producidos a partir de fuentes renovables de energía como carbohidratos.

Los polímeros que se han utilizados para la fabricación de plásticos biodegradables son almidón, pectina, quitosán, entre otros. En el área agrícola, la técnica del acolchado con materiales plásticos se utiliza para ahorrar agua, controlar malezas, estabilizar superficies, aumentar la temperatura y con esto lograr una cosecha precoz y de mayor rendimiento.

2.4.7.2. Geosintéticos

En los geosintéticos se encuentran aquellos materiales de deformabilidad apreciable, fabricados a base de materiales sintéticos, que poseen cualidades suficientes para proporcionar una mejora sustancial en una o varias propiedades que se requieren en las obras de ingeniería y geotecnia.

Dentro del grupo de los geosintéticos tenemos los Geotextiles que se definen como “Un material textil plano, permeable polimérico (sintético o natural) que puede ser no tejido, tejido o tricotado y que se utiliza en contacto con el suelo (tierra, piedras etc.) u otros materiales en ingeniería civil para aplicaciones geotécnicas”.¹⁶

¹⁵ STEVENS, E. S. 2002. Green plastics: an introduction to the new science of biodegradable plastics. New Jersey: Princeton University Press, 238 p.

¹⁶ Tomado de KOERNER R.M., *Designing with Geosynthetics*, 3 ED. U.S.A., Pág. 130-138. 1994

2.4.7.3. Geocompuestos

Un geocompuesto consiste en la combinación de geotextil y geored; o de geomalla y geomembrana; o de geotextil, geomalla y geomembrana; o cualquiera de estos cuatro materiales geosintéticos con otro material. Esta área brinda los mejores esfuerzos creativos de la ingeniería, fabricantes y contratistas. Las áreas de aplicación son numerosas y constantemente crecientes. Las principales funciones cubren el rango entero de las funciones citadas anteriormente como separación, refuerzo, filtración, drenaje y contención (barrera impermeable).

La filosofía básica detrás de los materiales es combinar los mejores rasgos de materiales diferentes de tal manera que se resuelva un problema específico en forma óptima. Los geocompuestos generalmente se fabrican a partir de material sintético¹⁷.

2.5. TECNICAS DE SELECCION DE MATERIALES Y TOMA DE DECISIONES

El diseño final de cualquier producto implica muchas fases, siendo una de las más importantes la correspondiente a la toma de decisiones (que está realmente presente en todas las fases de un proceso), sea para determinar el desarrollo del concepto inicial o el material (decisión) con el cual se va a desarrollar y/ fabricar. Teniendo en cuenta el anterior apartado se presentan métodos de selección de materiales y toma de decisiones para diferentes aplicaciones y contextos.

2.5.1. Análisis Multicriterio

Los métodos de Decisión Multicriterio son herramientas que ayudan a generar consenso en contextos complejos de decisión. Se pueden aplicar estas técnicas a casos en los que sea necesaria la confluencia de intereses y puntos de vista de diferentes grupos o personas. Esto permite que todas las partes interesadas participen en el proceso de toma de decisiones.

Para ayudar a la toma de decisión existen multitud de métodos. Éstos emanan de diferentes disciplinas y a continuación se presentan los más importantes según Bouyssou (*et al.*, 2000).

¹⁷ Tomado de KOERNER R.M., *Designing with Geosynthetics*, 3 ED. U.S.A., Pág. 140-155. 1994.

2.5.1.1. Métodos de decisión multicriterio discretos

Los Métodos de Decisión Multicriterio son Discretos cuando las alternativas de decisión son finitas. Sin embargo, para que los Métodos de Decisión Multicriterio Discretos se apliquen en el mundo real, es necesario que tengan una solidez teórica, pero sobre todo, es imprescindible que puedan ser comprendidos por los decisores y aplicados por ellos de forma fácil. La experiencia demuestra que las técnicas conceptualmente más fáciles de entender y de aplicar son más utilizadas que aquellas más abstractas teóricamente.

Dentro de los principales Métodos de Decisión Multicriterio Discreto se encuentran:

2.5.1.1.1. Método de agregación

Los métodos de agregación consisten en la aplicación de procedimientos matemáticos para sintetizar los valores obtenidos por cada alternativa respecto a todos los criterios considerados en el análisis. Los valores obtenidos pueden referirse tanto a las puntuaciones de las alternativas respecto de algún criterio, como a la utilidad que reporta el puntaje obtenido en dicho criterio.

Los mecanismos más conocidos de agregación son los que se obtienen de la ponderación lineal, o multiplicativa, en tanto que en las metodologías del tipo Electre o Promethee las formas de agregación están dadas por la lógica de las relaciones de superación.

2.5.1.1.2. Método compensatorio

Éste método se diferencia sobre la base de si las ventajas de un determinado atributo o criterio pueden ser intercambiadas por las desventajas de otro atributo, o si este intercambio no es posible. Una estrategia de elección es compensatoria si los intercambios de logros entre atributos (trade-offs) están permitidos. La estrategia será No Compensatoria si no están autorizadas dichas compensaciones.

Los métodos de Ponderación Lineal, de Utilidad Multiatributo y el Proceso Analítico Jerárquico son típicamente compensatorios, en tanto que los métodos Electre no lo son, tal como ocurre por otra parte con el método lexicográfico y el método de eliminación por aspectos.

2.5.1.1.3. Método de ponderación lineal (Scoring)

El método de ponderación lineal es probablemente el más conocido y el más corrientemente utilizado en los métodos multicriterio. Con dicho método se obtiene una puntuación global por suma de las contribuciones obtenidas de cada atributo. Si se tienen varios criterios con diferentes escalas, dado que los mismos no son sumables en forma directa, se requiere un previo proceso de normalización para que pueda efectuarse la suma de contribuciones de los atributos. Debe tomarse en cuenta, sin embargo, que el orden obtenido con este método no es independiente del procedimiento de normalización aplicado.

2.5.1.1.4. Método de utilidad multiatributo (MAUT)

Se trata de modelos de agregación de preferencias efectuadas respecto a criterios individuales, en los cuales se modelan las preferencias globales del decisor mediante de una función de valor.

La teoría de la utilidad multiatributo desarrollada por Keeny y Raiffa (1976), a partir de la teoría de utilidad unidimensional de Von Neumann y Morgenstern (1944), busca expresar las preferencias del decisor sobre un conjunto de atributos o criterios en términos de la utilidad que le reporta, dentro de un contexto de la teoría de la decisión en condiciones de incertidumbre.

2.5.1.1.5. Método electre (**E**limination **E**t **C**hoix **T**raduisant la **R**éalité)

Familia de métodos basado en relaciones de superación para decidir acerca de la determinación de una solución, que sin ser óptima pueda considerarse satisfactoria; además de obtener una jerarquización de las acciones, alternativas bajo análisis. Originada inicialmente y desarrollada por la escuela francófona (principalmente en Francia, Bélgica, Suiza, aunque pueden considerarse continental, ya que se verifican muy importantes contribuciones de los Países Bajos y Polonia, entre otros, a tal esquema), en la actualidad han sido desarrollados los procedimientos Electre I, II, III IV, IS y Electre TRI, los que brindan procedimientos para resolver diferentes tipos de problemas suscitados en el tratamiento de la teoría de la decisión.

2.5.1.1.6. Método promethee (**P**reference **R**anking **O**rganization **M**ethod for **E**nrichment **E**valuations)

Éste método (Brans y Vincke, 1985) consiste, como en Electre III, en la construcción de relaciones de superación valorizadas, incorporando conceptos y parámetros que poseen alguna interpretación física o económica fácilmente comprensibles por el decisor. Promethee hace uso abundante del concepto de pseudocriterio ya que construye el grado de superación entre cada par de acciones ordenadas, tomando en cuenta la diferencia de puntuación que esas acciones poseen respecto a cada atributo. La valuación de esas diferencias pueden realizarse mediante funciones de valor posibles y que son utilizadas de acuerdo a las preferencias del decisor, quien además debe proporcionar los umbrales de indiferencia y de preferencia asociados a estos pseudocriterios.

Otras variantes del método plantean situaciones más sofisticadas de decisión, en particular problemas con un componente estocástico. Así se han desarrollado las versiones Promethee II, Promethee III, Promethee IV y Promethee V. En Promethee V (Brans y Mareschal, 1992), se incorpora una filosofía de optimización entera a efectos de abordar problemas de selección de inversiones con restricciones presupuestarias.

2.5.1.1.7. Método MACBETH (**M**easuring **A**ttractiveness by a **C**ategorical **B**ased **E**valuation **T**echnique)

Macbeth es un método interactivo que mide el grado de preferencia de un decisor sobre un conjunto de alternativas. Fue desarrollado por Carlos Bana e Costa, de la Universidad de Lisboa, Portugal, y Jean Claude Vansnick de la Universidad de Mons-Hainaut, Bélgica, en 1994. Construye una función criterio de un punto de vista fundamental y determina los parámetros relacionados con la información entre criterios (pesos) en la fase de agregación.

Para la construcción de la función criterio de cada punto de vista, la preferencia es local, es decir, que los juicios del decisor conciernen únicamente a un solo punto de vista fundamental. Para determinar los pesos se usan los juicios del decisor acerca de la preferencia total de las alternativas. Estos permiten a Macbeth representar la información de manera cuantitativa mediante la relación de todos los criterios dentro de un modelo de evaluación global.

2.5.1.1.8. Método lexicográfico

Se parte de una matriz de valuación para la cual se han determinado las escalas apropiadas y se designa un criterio principal que será el criterio dictador. Aquella acción potencial que obtiene la mejor puntuación en ese criterio queda consagrada como la "mejor" acción. En caso que hubiera empate entre pares de acciones luego de efectuada esta primera selección, se aplica un procedimiento de desempate que consiste en recurrir al segundo criterio en orden de importancia (aquella acción que obtiene la mejor nota con el segundo criterio es la que queda clasificada como la mejor), o en el tercer criterio si fuera necesario, y así seguido.

Este procedimiento no es tan trivial como pudiera creerse, ya que es utilizado frecuentemente en decisiones económicas: la selección de proyectos sobre la base del mayor valor presente neto constituye un típico procedimiento basado en un criterio dictatorial.

El procedimiento se denomina lexicográfico, ya que de este mismo modo se ordenan las palabras del diccionario: el criterio dictatorial es la primera letra, luego los casos de empate son resueltos con la segunda letra y así seguido.

También existe el método de Eliminación por aspectos, el cual es un procedimiento muy parecido al método lexicográfico, igual que en el método lexicográfico, se examina un atributo de por vez y se realizan las comparaciones entre las alternativas, eliminando aquellas que no cumplen con algún estándar o valor de base predeterminado. La diferencia con el método anterior es que los criterios no están ordenados por orden de importancia, sino en términos de su poder de discriminación probabilística.

Esto es, los atributos son utilizados y priorizados en términos de su orden de verosimilitud para que fallen las alternativas: estas son eliminadas según los aspectos más probables de fallo.

2.5.1.1.9. Método de programación por compromiso (TOPSIS)

El método de Programación por compromiso, también llamado Topsis, de las siglas en inglés: **T**echnique for **O**rder **P**reference by **S**imilarity to **I**deal **S**olution, es una técnica de programación matemática utilizada originalmente en contextos continuos y que ha sido modificada para el análisis de problemas multicriterio de tipo discretos. Es utilizada para identificar soluciones que se encuentran lo más cerca posible a una solución ideal

aplicando para ello alguna medida de distancia. Las soluciones así identificadas se denominan soluciones compromiso y constituyen el conjunto de compromiso.

Esta técnica está basada en el concepto que una alternativa seleccionada debe tener la distancia más corta posible hacia la solución ideal positiva y estar lo más lejos posible respecto de la solución ideal negativa. Fue desarrollada por Hwang y Yon en 1981, recibiendo posteriores aportes de Zeleny (1982), Hall (1989). Fue mejorada por los propios autores en 1987 y más tarde conjuntamente con Lai y Liu en 1993.

Una solución ideal se define como una colección de niveles ideales (o de puntajes) en todos los atributos considerados, pudiendo suceder que tal solución normalmente sea inalcanzable o que sea no factible. Esta noción se basa en la idea que el logro de tal meta se encuentra en la racionalidad de la elección humana. El vector compuesto por los mejores valores del j -ésimo atributo respecto a todas las alternativas posibles es quien recibe el nombre de solución ideal positiva. En contraposición, la solución ideal negativa estaría dada por el vector que contiene los peores puntajes alcanzables en los atributos.

De este modo puede ocurrir que una alternativa seleccionada desde el punto de vista de su más corta distancia respecto de la solución ideal positiva deba competir con otra alternativa que se encuentra lo más lejos posible de la solución ideal negativa. Por ello, y a fin de definir la solución ideal, el método Topsis define un índice de similaridad (o de proximidad relativa) que se construye combinando la proximidad al ideal positivo y la lejanía respecto al ideal negativo.

El método se desarrolla en una serie de etapas: primero se normalizan los puntajes asignados a las diversas alternativas; luego se calculan los puntajes normalizados ponderados; de allí se identifican y/o definen las soluciones ideal positiva e ideal negativa del problema bajo análisis, en términos de los valores normalizados ponderados; así mismo se calculan las medidas de separación o distancia a las soluciones ideales entre las alternativas, mediante alguna noción de distancia métrica, que puede ser la euclídea. Cualquiera sea la noción de distancia utilizada, esta se calcula respecto a la solución ideal positiva y respecto a la solución ideal negativa; Finalmente se construyen las semejanzas a la solución ideal positiva como índice respecto a la solución ideal negativa, lo que implica que dicho índice combina los dos aspectos o metas definidos al principio.

El ordenamiento por preferencia de las soluciones surge de colocar las alternativas en orden decreciente respecto a las semejanzas estimadas en el último paso ya que el más alto valor representa aquella alternativa que se encuentra más cerca del ideal positivo en relación a la distancia respecto al ideal negativo.

Cabe observar que por el tipo de atributos bajo análisis (todos atributos deben medirse sobre escalas de intervalo) y por la heurística aplicada, el método Topsis es muy adecuado

al tratamiento multicriterio de problemas que aparecen en los Sistemas de Información Geográfica.

2.5.1.1.10. Proceso de análisis jerárquico (A.H.P.)

Desarrollado por Thomas Saaty en 1980, consiste esencialmente en formalizar nuestra comprensión intuitiva de problemas complejos utilizando una estructura jerárquica. El propósito del A.H.P. es permitir que el decisor pueda estructurar un problema multicriterio en forma visual, dándole la forma de una jerarquía de atributos, la cual contendría mínimamente tres niveles: el propósito u objetivo global del problema, ubicado en la parte superior, los varios criterios que definen las alternativas en el medio, y las alternativas concurrentes en la parte inferior del diagrama. En la medida que los criterios sean muy abstractos, tal como bienestar humano, o capacidad, por ejemplo, pueden incluirse sub-criterios más operativos en forma secuencial entre el nivel de los criterios y el de las alternativas, lo que da origen entonces a una jerarquía multinivel.

2.5.2. Método de Restricciones Múltiples

Este método trabajado por Mangonon (2001), establece una adaptación a las características deseadas por el decisor ya que permite una cierta “conveniencia” frente a las condiciones que se presenten dando como resultado la opción subjetiva de un material que posiblemente ya estaba preconcebido. Al igual que los métodos de decisión multicriterio, existen limitaciones para el uso de este método, encontrándose principalmente el no jerarquizar prioridades o ponderar con valores.

2.5.3. Método de selección de Ashby¹⁸

Este método de selección de materiales fue desarrollado por M.F. Ashby en 1992 y radica principalmente en la optimización del proceso de diseño, basándose en la selección más apropiada de material para la aplicación que se requiera.

¹⁸ ASHBY, Michael. *Material selection in mechanical design*, 2nd ed. Cambridge, Cambridge University Press, 1999.

Según esta metodología, existe un parámetro de rendimiento P que puede permitir la optimización del proceso de diseño de un componente dado. Dicho parámetro o índice de rendimiento depende de la forma del componente, de la función y las exigencias físicas a las cuales se encuentre sometido y del material del cual se encuentre constituido (Ver fig 13). Esta función se expresa bajo la siguiente notación:

$$P(\text{rendimiento}) = f\{[F],[G],[M]\} \text{ (Ec.1)}$$

Separando cada uno de los índices de forma independiente se obtiene:

$$P = f_1[F] f_2[G] f_3[M] \text{ (Ec.2)}$$

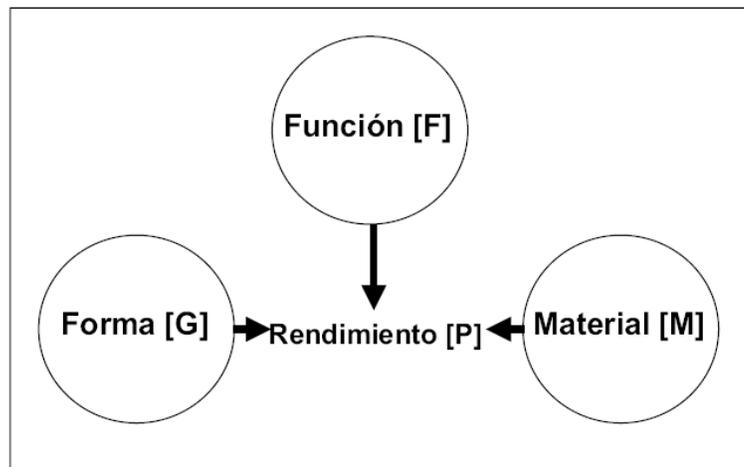


Figura 13. Metodología Ashby para el optimizar la fase de diseño

Fuente: Tomado de:

http://ciruelo.uninorte.edu.co/pdf/ingenieria_desarrollo/12/metodologia_mixta_de_seleccion_de_materiales.pdf. 2002

La metodología Ashby busca optimizar el índice de rendimiento en el proceso de diseño desde el punto de vista de la selección más adecuada para el material y según las restricciones dadas por la función que va a ejercer el componente y por la configuración geométrica del mismo. Para mejorar el índice de rendimiento se busca minimizar la expresión que representa el índice del material, manteniendo los demás índices constantes.

Una vez identificado el índice de material, se procede a realizar la selección mediante las cartas de selección de materiales Ashby. En estas cartas se puede seleccionar el material con base en sus propiedades más relevantes y posterior comparación de dos de esas propiedades seleccionadas.

CAPITULO 3. METODOLOGIA

Es una investigación de tipo experimental.

El proceso de investigación comprendió:

- *Elaboración del diseño experimental*, es decir cómo medir, en qué orden, y qué precauciones tomar al hacerlo. Establecer experimentos de prueba para determinar resultados iniciales, disponibilidad de equipos de laboratorio, calibración, para posterior definir criterios y variables finales para realizar y validar el experimento.
- *Realizar el experimento*. Una vez realizado lo anterior y la interpretación tentativa de resultados, se realizó el experimento final y se procedió a las mediciones propuestas para establecer las condiciones definidas para el estudio.

Fuentes de Información

Primarias: Pruebas de laboratorio, pruebas de campo.

Secundarias: Información relacionada en libros, revistas y sitios web.

3.1. AREA DE ESTUDIO

El área donde se desarrolló el diseño, desarrollo (fabricación) y análisis de la manta biodegradable y su comportamiento, fue en la vereda Higueras correspondiente al municipio de Duitama (capital de la provincia del Tundama) ubicado en el departamento de Boyacá, en cuya geografía se encuentra la vía de doble calzada de la concesión BTS (Briceño Tunja Sogamoso) presentando Taludes definidos por desmontes como se observa a continuación: (Ver Fig 14).



Figura 14. Desmontes en el área de estudio
Fuente: Autor

Estos desmontes presentan una antigüedad entre 1 y 2 años dependiendo de diferentes características civiles en la obra (presupuesto, maquinaria, vegetación, entre otros.)

3.2. MUESTRA

Para la realización de este proyecto se seleccionaron 4 taludes con características físicas similares: (Ver Fig 15).



T.C. 1 (Talud control No. 1)
Ubicación: Km 2 Vía Duitama – Tunja
(Vereda Higueras)



T.C. 2 (Talud control No. 2)
Ubicación: Km 4 Vía Duitama – Tunja
(Trinidad Vereda Higueras)



T.C. 3 (Talud control No. 3)
Ubicación: Km 4 Vía Duitama – Tunja
(Trinidad Vereda Higueras)



T.C. 4 (Talud control No. 4)
Ubicación: Km 1 Vía Duitama –
Tunja (Vereda Higueras)

Figura 15. Taludes de muestra
Fuente: Autor

T.C.1: pendiente 200%, relación 1H:2V (6m:12m)+/-1.

T.C.2: pendiente 200%, relación 1H:2V (5m:10m)+/-1.

T.C.3: pendiente 200%, relación 1H:2V (10m:20m)+/-1.

T.C.4: pendiente 200%, relación 1H:2V (1.5m:3m)+/-1.

En los taludes se llevó a cabo un análisis edafológico frente a la determinación de pH y humedad. A cada uno de los taludes (desmontes) se le realizó un reconocimiento visual para observar el grado de erosión, pendiente, cobertura vegetal y presencia de afloramientos rocosos.

En todas las muestras de suelo recogidas en los taludes se realizaron análisis químicos de macronutrientes (Fósforo (P), Nitrógeno (N), Calcio (Ca), Potasio (K) Magnesio (Mg) y pH, para establecer la factibilidad de ubicación de la manta biodegradable.

Estrategias del muestreo

Para la realización del muestreo del suelo se hizo una medición aproximada de los taludes (Ver fig 16) y se consideraron cuatro variables:

La distribución del muestreo. Se realizaron 4-muestras: una por cada talud seleccionado; cada una constituida por 50 gramos del terreno.



Figura 16. Distancia promedio de taludes
Fuente: Autor

La profundidad del muestreo: las muestras realizadas fueron tomadas dentro de los primeros 18 centímetros medidos desde la superficie.

La época del año: Se analizaron las muestras en los meses de Noviembre (2009) y Febrero y Marzo (2010) para determinar el pH mediante observación y estudio de laboratorio

Las características del lote (talud): Análisis de factores, condiciones climáticas, pH, horizontes, entre otros.

Los factores (fuerzas) (Ver Fig 17) considerados en el análisis de las características del talud se sintetizan a continuación:

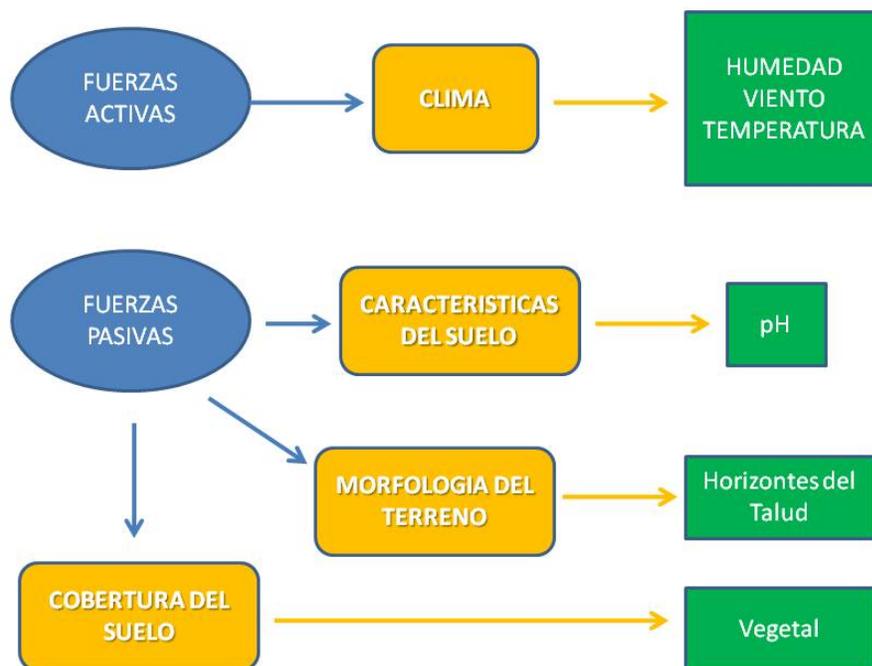


Figura 17. Fuerzas activas y pasivas
Fuente: Autor

3.2.1. Fuerzas Activas

Clima:

En Duitama existen tres zonas climáticas que corresponden a:

- Clima Frío Húmedo: terrenos ubicados entre los 2.500 y 3.000 msnm.
- Clima muy Frío Subpáramuno Seco: terrenos ubicados entre los 3.000 y 3.600 msnm.
- Clima de Páramo Seco: terrenos ubicados entre los 3.600 y 3.800 msnm.

La **temperatura promedio** es de 15 °C, sin embargo, la ciudad en un solo día puede alcanzar desde los 5 a los 24 °C, la **precipitación media** es de 1.128 mm, los **períodos de lluvia** corresponde estadísticamente a los meses de marzo a mayo y de septiembre a noviembre, y la **temporada seca** principalmente corresponde a los meses de junio a agosto y de diciembre a febrero; la **humedad relativa** es del 81.4 % promedio; la

evaporación abarca un rango que oscila entre 80.63 mm y 99.53 mm; los **vientos** predominantes proceden del sudeste y del sur, la velocidad media es de 2,86 y 3,29 m/s, los vientos son más fuertes en julio y agosto; la **insolación** o brillo solar corresponde a 5h promedio por día y de 1.820 horas anuales de sol.

3.2.2. Fuerzas Pasivas

a. Características del suelo a través del análisis de pH

Para el análisis del suelo se utilizó el método del Rojo de Metilo (Ver Tabla 9) y se realizó de la siguiente manera:

En un tubo de ensayo se colocó una cantidad de suelo (5grs.), se agregó un volumen aproximadamente igual de Sulfato de Bario radiológico (BaSO₄) y se añadió agua destilada en una cantidad 4 a 5 veces superior al volumen ocupado por la mezcla de suelo y sulfato. Se colocó a continuación 3 a 4 gotas del reactivo. Se agitó y se esperó que clarificara la parte superior del líquido, donde no hubo necesidad de aumentar la proporción del sulfato de bario. La coloración resultante (amarillento) determinó el pH como levemente ácido (índice superior a 6.0), lo cual se corrobora en la siguiente tabla:

Escala de pH según color método Rojo de Metilo		
<i>Interpretación</i>	<i>Color</i>	<i>pH</i>
Muy fuerte. Acido	Rojo	menor de 4
Fuertemente ácido	Rosa	5
Levemente ácido a alcalino	Amarillo	mayor de 6

Tabla 9. Escala de pH. Método Rojo de Metilo
Fuente: Tomado de www.produccion.com.ar Consultado 10/05/2010

El pH obtenido permite considerar al suelo como propicio para la asimilación de la manta y posibilitar a través de sus nutrientes, la revegetación.

b. Morfología del terreno: Horizontes

Se denomina *horizontes del suelo* a una serie de niveles horizontales que se desarrollan en el interior del mismo y que presentan diferentes caracteres de composición, textura, adherencia, etc. El *perfil del suelo* es la ordenación vertical de todos estos horizontes. Clásicamente, se distingue en los suelos completos o evolucionados tres horizontes (Ver Fig 18) fundamentales que desde la superficie hacia abajo son:



Figura 18. Horizontes del suelo.
Fuente: Autor

- **Horizonte A**, o *zona de lavado vertical*: Es el más superficial y en él enraíza la vegetación herbácea. Su color es generalmente oscuro por la abundancia de materia orgánica descompuesta o humus elaborado, determinando el paso del agua a su través el arrastre hacia abajo, de fragmentos de tamaño fino y de compuestos solubles.¹⁹
- **Horizonte B** o *zona de precipitación*: Carece prácticamente de humus, por lo que su color es más claro, en él se depositan los materiales arrastrados desde arriba, principalmente, materiales arcillosos, óxidos e hidróxidos metálicos, carbonatos, etc.²⁰
- **Horizonte C** o *roca madre*, o *subsuelo*: Está constituido por la parte más alta del material rocoso *in situ*, sobre el que se apoya el suelo, más o menos fragmentado por la alteración mecánica y la química, pero en él aún puede reconocerse las características originales del mismo.²¹
- **Horizonte D** u **horizonte R** o *material rocoso*: es el material rocoso subyacente que no ha sufrido ninguna alteración química o física significativa. Algunos distinguen entre **D**, cuando el suelo es autóctono y el horizonte representa a la roca madre, y

¹⁹ Jordán López, Antonio. *Manual de Edafología*. Ed. Universidad de Sevilla. Sevilla. 2005. Pág 11-14.

²⁰ Ibid. Pág 11-14.

²¹ Ibid. Pág 11-14.

R, cuando el suelo es alóctono y la roca representa sólo una base física sin una relación especial con la composición mineral del suelo que tiene encima.²²

c. Cobertura del suelo

El uso de abonos, la aplicación de baldosas de pasturas (Ver fig 19) y/o elementos geosintéticos pueden atenuar las condiciones de erosión que se puedan presentar en los taludes y posibilitar la colonización vegetal.



Figura 19. Revegetación de taludes
Fuente: Autor

3.3. SELECCIÓN DE MATERIALES

En el proceso de selección de materiales se aplicó el método de ponderación lineal (*Scoring*) con aplicación de una tabla genérica de materiales del método Ashby, el cual permitió definir cuatro características que facilitaron la implementación de uno de los materiales en el desarrollo del proyecto, buscando de cierta forma, el material idóneo

²² Ibid. Pág 11-14.

para desarrollar el proceso de experimentación²³. El uso de materiales fibrosos hace que su utilización se comporte inicialmente como estabilizador estructural de las propiedades del suelo y posteriormente como sustrato tipo compost para brindarle nutrientes que sean necesarios para la superficie. La utilización de materiales no fibrosos (cáscara de la papa, entre otros) hace que directamente se comporte como compost haciendo una descomposición directa de la materia prima brindando nutrientes al suelo, pero no ayudándolo estructuralmente a la compactación de la superficie.

Para la determinación de residuos agrícolas, se dispuso de aquellos presentes en la región estudiada (Ver tabla 7), sus niveles de producción, disponibilidad (por cultivo transitorio y/o permanente) y la cantidad de residuo final (estimado de carácter porcentual), permitiendo así la selección de aquel que mas ventajas ofrece frente a dichas características, teniendo en cuenta también, el tipo de tejido presente en el material elegido.

Las etapas del método son las siguientes²⁴:

- (1) Identificar la meta general del problema
- (2) Identificar las alternativas
- (3) Listar los criterios a emplear en la toma de decisión
- (4) Asignar una ponderación para cada uno de los criterios
- (5) Establecer en cuanto satisface cada alternativa a nivel de cada uno de los criterios
- (6) Calcular el score para cada una de las alternativas
- (7) Ordenar las alternativas en función del score. La alternativa con el score más alto representa la alternativa a recomendar.

Modelo para calcular el Score:

$$S_j = \sum_i w_i r_{ij}$$

Donde: r_{ij} = Rating de la alternativa j en función del criterio i

w_i = ponderación para cada criterio i

S_j = score para la alternativa j

²³ Para el desarrollo del proceso de evaluación y selección del material, se contó con un grupo de profesionales, conformado por MSc. Ing. Agrónomo Efraín Martínez Quintero, Ph.D. Ing. de Alimentos Javier Carreño Rueda y MSc. Ing. Agrónomo Jorge Fonseca Carreño. Docentes UPTC – Duitama en áreas como en Gestión Agroindustrial, Procesos Agroindustriales y Desarrollo Sostenible y MSc. Ing. Luis López Ojeda en el área de Infraestructura vial y Mecánica de Suelos.

²⁴ Anderson, Sweeney y Williams. *Métodos cuantitativos para los negocios*. 7ª Ed. 1998. Pág. 748-760.

Pasos:

- (1) Seleccionar el mejor material
- (2) Alternativas: cáscara de papa, residuos cebolla larga y hoja de maíz (chala).
- (3) Criterios: Producción, disponibilidad en la región, porcentaje de residuos finales, tipo de tejido.
- (4) Asignación de una ponderación para cada criterio mediante el empleo de una escala de 5 puntos:
 - 1= muy poco importante
 - 2= poco importante
 - 3= importancia media
 - 4= Algo importante
 - 5= Muy importante

CRITERIOS	PONDERACION w_i
1. Producción	4
2. Disponibilidad de la región	4
3. % de residuos finales	4
4. Tipo de tejido	5

- (5) Establecer el rating de satisfacción para cada alternativa empleando una escala de 10 puntos

1= extra bajo	4= poco bajo	7= poco alto	10= extra alto
2= muy bajo	5= algo bajo	8= alto	
3= bajo	6= medio	9= muy alto	

CRITERIOS	C. PAPA	R. CEBOLLA LARGA	H. MAIZ (Chala)
1. Producción	10	9	9
2. Disponibilidad de	9	7	10

la región			
3. % de residuos finales	5	7	8
4. Tipo de tejido	1	6	10

(6) Ponderación por cada alternativa

CRITERIOS	PONDERACION w_i	C. PAPA	R. CEBOLLA LARGA	H. MAIZ (Chala)
1. Producción	4	10	9	9
2. Disponibilidad de la región	4	9	7	10
3. % de residuos finales	4	5	7	8
4. Tipo de tejido	5	1	6	10
SCORE S_j		101	122	158

(7) Decisión

La hoja de maíz (chala) obtiene la ponderación más alta de $S_j = 158$, y por lo tanto representa la mejor alternativa a recomendar.

Teniendo en cuenta dicha decisión, se buscó a su vez un aglomerante que permitiera una mezcla con el material para formar finalmente la manta, para lo cual se utilizó un gráfico comparativo (ver Fig 20) propuesto por el método Ashby donde se compara el Módulo de Young con la densidad del material.

El material utilizado como aglomerante fue Colapiscis (al mezclarse con agua se convierte en un coloide-sustancia semisólida) el cual presenta una densidad de 1020 kg/m^3 y un Módulo de Young de 10^{-6} GPa .

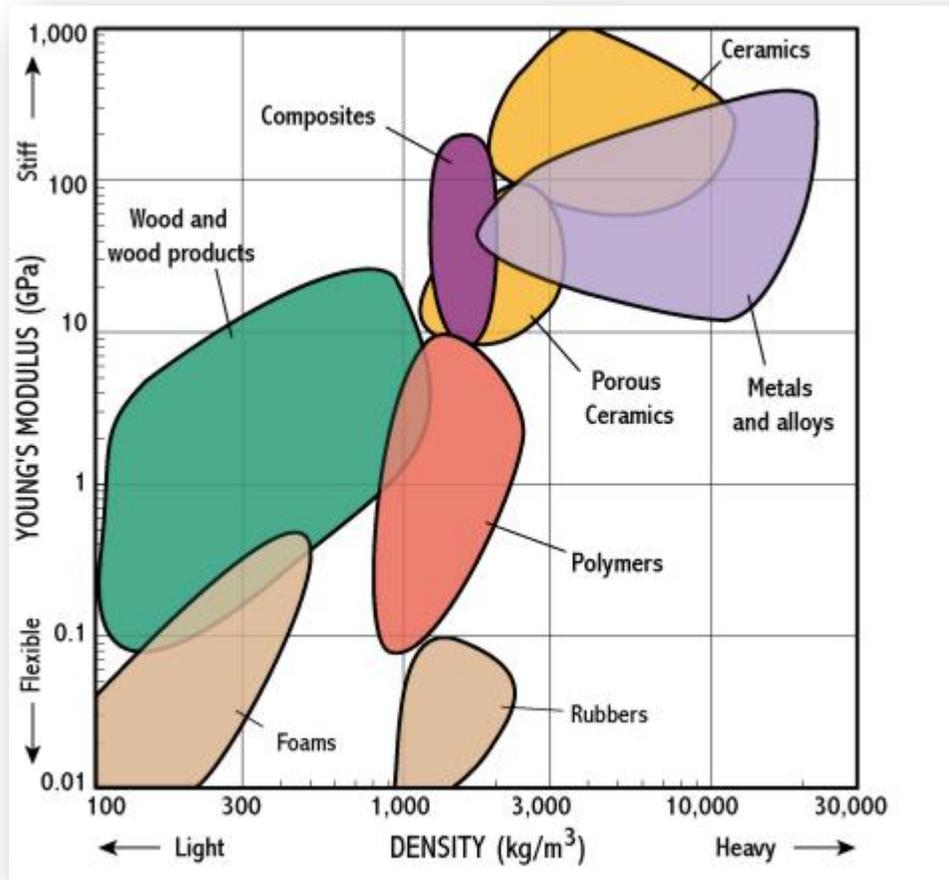


Figura 20. Selección de materiales: Modulo de elasticidad vs. Densidad
 Fuente: Harper, C. Handbook of Materials for Product Desing, McGraw Hill, EE.UU., 2001.

Al analizar la gráfica se establece que presenta una densidad cercana al caucho y a algunos polímeros elastómeros y que al presentar una elasticidad tan baja se convierte en un material flexible.

El maíz es un cultivo de unos 7000 años de antigüedad, de origen indio y sembrado en zonas de México y América central.

En Colombia hay sembradas un poco menos de un millón de hectáreas de maíz, de las cuales el 60% es de recolección manual y el 40% se recoge por medio de una maquina

desgranadora. Anualmente son recogidas 1´114.000 toneladas de maíz, que componen el 38% del mercado del maíz en el país.²⁵

Cuando se utiliza maquinaria especializada después de recolectar la mazorca, el resto de la planta incluido el Amero es molido y colocado en el suelo como abono (por su fácil descomposición), Solo el 5% de las hectáreas sembradas en Colombia son recogidas en una etapa temprana (Granos tiernos, Amero verde) para ser vendidas como “choclo”. El Amero aquí es un desperdicio.

Para el análisis del proceso de selección se determinó que el maíz utilizado (la variedad analizada y utilizada fue *Porva Sogamoseño*) ofrece mayor porcentaje de residuos finales a partir de su morfología. (Ver Fig 21).

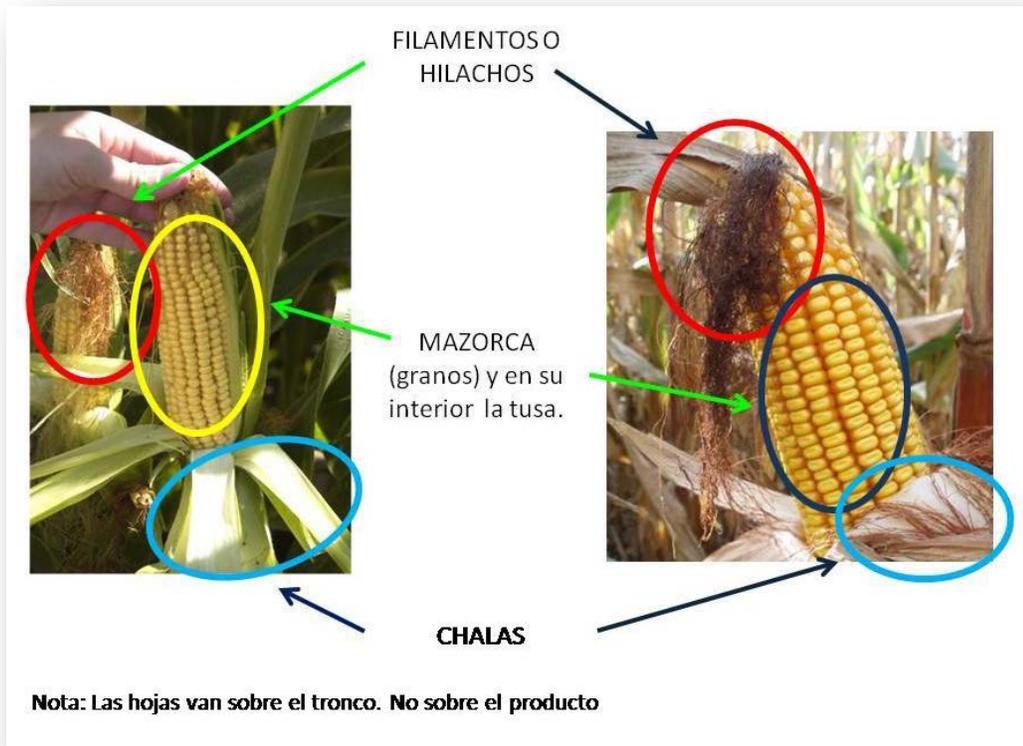


Figura 21. Variedad de maíz: Porva sogamoseño
Fuente: Autor

²⁵ Tomado del Informe: “RECUPERACIÓN DE FIBRAS. PROYECTO DE INNOVACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO”. Instituto Técnico Industrial FRANCISCO JOSE DE CALDAS. AREA DE CIENCIAS NATURALES Y EDUCACIÓN AMBIENTAL. Bogotá D.C. 2009.

El cultivo del maíz produce una gran cantidad de biomasa, de la cual el hombre cosecha apenas cerca del 50% en forma de grano. El resto, corresponde a diversas estructuras de la planta tales como caña, hoja, limbos y mazorca entre otros. La producción de biomasa residual que genera un cultivo de maíz de grano (cañas, hojas, chalas y mazorcas), fluctúa entre 20 a 35 toneladas por hectárea y en el maíz de choclo (cañas y hojas) varía entre 16 a 25 toneladas por hectárea. La proporción entre los componentes del residuo depende principalmente de la variedad, nivel de fertilización y tipo de cultivar (Ver tabla 10).²⁶

COMPONENTE	% DEL PESO SECO DEL MAÍZ
Tallos	17.6
Chalas	8.9
Total Caña	38.5
Mazorca	11.8
Grano	49.7
Total Espiga	61.5

Tabla 10. Proporción de los diferentes componentes de una planta de maíz
Fuente: Tomado de: http://www.engormix.com/residuos_cultivo_maiz_s_articulos_775_AGR.htm Consultado 12/06/2010.

Cada una de estas estructuras posee características físico-químicas propias, lo que le confiere un valor nutritivo muy diferente, dependiendo de si el residuo corresponde a maíz de grano o maíz para consumo fresco. Los tallos presentan las estructuras más lignificadas y de menor contenido de proteína bruta (3.1%) y las hojas entre 4 y 7 %, (Tabla 11).²⁷

COMPONENTE	PB	DIVMS
	%	
Hojas	4.5	55.6
Tallos	3.1	59.7
Chalas	4.7	69.1
Mazorcas	4.7	58.0
Cañas + Hojas	4.2	55.8

Tabla 11. Proteína bruta y digestibilidad de la materia seca en diferentes componentes del rastrojo de maíz
Fuente: Tomado de: http://www.engormix.com/residuos_cultivo_maiz_s_articulos_775_AGR.htm Consultado 12/06/2010.

²⁶ Tomado de http://www.engormix.com/residuos_cultivo_maiz_s_articulos_775_AGR.htm Consultado 12/06/2010.

²⁷ Tomado de http://www.engormix.com/residuos_cultivo_maiz_s_articulos_775_AGR.htm Consultado 12/06/2010.

Se ha constatado que es poseedora de saponinas, fitoesteroles, alantoina, betaína, resinas, gomas, flavonoides, sales minerales, potasio, calcio, magnesio, sodio y hierro, carvacrol, ácido salicílico, ácido maizérico, vitaminas C y K. Las semillas tienen abundantes ácidos grasos poliinsaturados, ácido oleico, linoleico, palmítico. Abundante almidón, carotenoides y vitamina E bordenina. La zeína, que es una proteína del maíz, es utilizada por sus propiedades desintegrantes y diluyentes y se usa para la elaboración de comprimidos. En forma de glicerito se utiliza como emoliente base para supositorios²⁸.

Del cultivo del maíz se tomaron muestras de los subproductos determinando cual de ellos ofrecía más posibilidades de aprovechamiento y se determinó bajo las expectativas del proyecto y los análisis de proteína y digestibilidad de materia seca, que las chalas del maíz permitía mayor aprovechamiento y así pues, se tomó como objeto de análisis.

Las chalas del maíz (Ver Fig 22), que es el subproducto de mayor volumen y donde se determina verdaderamente el material fibroso, es un material transformable y a su vez resistente, el cual, como se ha enunciado anteriormente, se utiliza principalmente para alimento de animales, usos artesanales y desarrollo de material de abono (tipo compostaje). En la actualidad se ha determinado que el uso de este material pulverizado se ha convertido en una fuente de material puzolánico como lo determinan las investigaciones realizadas por Águila (2001).



Figura 22. Chalas de maíz.
Fuente: Autor

²⁸ Tomado de http://www.engormix.com/residuos_cultivo_maiz_s_articulos_775_AGR.htm Consultado 12/06/2010.

3.4. PRUEBAS Y PROCEDIMIENTOS

Para el desarrollo de la manta biodegradable se partió inicialmente de un experimento básico que consistía en deshojar mazorcas y así obtener aproximadamente 300 gr. de la hoja para posteriormente secarla (bajo condiciones normales) y desarrollar una manta de carácter no tejida, a través de la utilización de un aglomerante como Colapiscis (gelatina sin sabor) y un material que permitiera la flexibilidad de la prueba (Glicerina). Se presenta a continuación el desarrollo del proceso:

FASE	DESCRIPCIÓN	FIGURA
1	Definición de material aglomerante (300 gr) y material complementario (300 gr) y H ₂ O (300 ml).	 <p data-bbox="1117 984 1268 1010">Fuente: Autor</p>
2	Se preparó una mezcla referente a tres parte iguales de agua (H ₂ O), colapiscis y glicerina, de tal manera que se pudiera obtener una mezcla de los tres componentes iniciando con el calentamiento del agua (H ₂ O) en un recipiente a una temperatura de 75°C. Posteriormente se agregó el material aglomerante, se homogeneizó la mezcla y finalmente se incorporó la glicerina.	 <p data-bbox="1117 1415 1268 1440">Fuente: Autor</p>
3	Se obtuvo la mezcla base para ser aplicada directamente sobre el material elegido.	 <p data-bbox="1117 1839 1268 1864">Fuente: Autor</p>

4	<p>Aprovechando la fabricación de una estructura llamada Cuadrante, se establecieron 4 espacios de trabajo en donde se utilizaron 2 de ellos para trabajar con el material escogido (chalias del maíz) y los 2 restantes con otro de los materiales (cáscara de papa, que obtuvo la menor calificación en el proceso de selección) que fueron analizados para realizar el análisis comparativo.</p>	 <p>Fuente: Autor</p>
5	<p>Se colocan las hojas previamente secas, en una de las áreas y se traslapan. Posteriormente se realiza el vertido de la mezcla previamente preparada sobre el material. (Para cada uno de los espacios del cuadrante se utilizó la misma cantidad de mezcla).</p>	 <p>Fuente: Autor</p>
6	<p>Para la utilización del segundo material (cáscara de papa) se esparce sobre el espacio y prosigue según lo definido en la fase 5. (Ver resultado final al terminar la tabla en punto 10.1)</p>	 <p>Fuente: Autor</p>
7	<p>Posterior a la obtención mediante el secado (tiempo 3 – 5 horas según condiciones climáticas), se lleva la prueba (chalias de maíz) al espacio geográfico referenciado para el análisis de biodegradabilidad (según norma ASTM D 5488-944) y conservación de características.</p>	 <p>Fuente: Autor</p>
8	<p>Los 10 días siguientes a la ubicación se observó una pigmentación oscura debido al proceso de degradación y a la ubicación en condiciones externas</p>	

	a su fabricación (influencia de factores externos, como la humedad, lluvia, viento, Tº.) y a su vez la aparición de insectos y microorganismos que empezaron a descomponer la prueba.	 Fuente: Autor
9	Presencia de microorganismos sobre la prueba realizada indicando la pertinencia tanto del subproducto seleccionado como de los materiales para la mezcla.	 Fuente: Autor
10	Asimilación de la prueba realizada en la superficie del talud.	 Fuente: Autor
10.1	El resultado final de la muestra realizada con la cáscara de la papa presentó anomalías de carácter estético en la prueba generando flexión hacia la parte interna de las secciones laterales, a su vez, presentó rigidez de tal manera que era casi imposible su degradación.	 Fuente: Autor

De este proceso se dedujo:

- Que los materiales utilizados para generar la mezcla son pertinentes para ser usados en experimentos siguientes (las chalas del maíz se comportaron bajo lo previsto frente a la cáscara de la papa que finalmente dejó de ser flexible como lo es solo el residuo, pero al contacto con el material aglomerante y pasar cierto tiempo en el contexto, se endureció (se le otorga esta característica tanto física como visual debido al almidón que presenta) y no se degradó como lo esperado).

- El comportamiento de los residuos agrícolas (chapas del maíz) en el desarrollo de la manta es adecuado debido a la degradación observada y a la adaptación sobre la superficie (inclinación del talud).
- Las condiciones externas (fuerzas activas) inciden de manera importante en la transformación gradual de la manta debido a que al ser utilizados residuos agrícolas (subproductos como las chapas del maíz se degradaron más rápido que la cáscara de la papa) se acelera el proceso de descomposición.
- Se puede observar que la orientación de la fibra de la hoja es un factor importante a tener en cuenta para estructurar una prueba siguiente, ya que al construir una manta se debe tener en cuenta si su composición es tejida o no tejida (las chapas del maíz presentan tejido fibroso frente a la no presencia de la fibra en la cáscara de la papa).

Posterior a esta primera prueba y con base en los resultados obtenidos que se presentan a continuación (Ver Tabla 12), se estructuró un modelo de carácter experimental.

Exp	Aglomerante	Cantidad	Tipo de fibra	Cantidad	Obtención de la fibra
1	Mezcla C+G+H ₂ O	3 cantidades iguales de producto (300gr/300gr/300ml)	No convencional - Seca	300 gr	Licuada+Secado al aire libre
2	Almidón de maíz+H ₂ O	2 Cantidades de Almidón de maíz y 1 cantidad de H ₂ O (600 gr/300ml)	No convencional - Seca	300 gr	Licuada+Secado al aire libre
3	Mezcla C+G+H ₂ O	3 cantidades iguales de producto (300gr/300gr/300ml)	No convencional - Húmeda	300 gr	Licuada+Cocción (75º-80ºC aprox)+ Secado al aire libre
4	Almidón de maíz+H ₂ O	2 Cantidades de Almidón de maíz y 1 cantidad de H ₂ O (600 gr/300ml)	No convencional - Húmeda	300 gr	Licuada+Cocción (75º-80ºC aprox)+ Secado al aire libre

Tabla 12. Resultados obtenidos. Primera prueba
Fuente: Autor

Teniendo en cuenta la tabla anterior, se realizaron cuatro experimentos donde se aplicó la mezcla utilizada en la primera prueba y se incorporó otro aglomerante como el almidón de maíz ((C₆H₁₀O₅)_n) para poder comparar materiales de aglomeración presentes en el mercado y a su vez, sus propiedades de adaptabilidad a condiciones externas (factores activos) para así, finalmente identificar cual de las 2 alternativas era pertinente para la muestra final.

Nota: el proceso de cocción realizado en los experimentos 3 y 4 sirvió para reducir el nivel de celulosa, es decir, falta de polímeros naturales, lo que limita el desarrollo de las propiedades que presenta una manta biodegradable. Por lo tanto, solo se seleccionaron para el desarrollo del proyecto los experimentos 1 y 2.

FASE	DESCRIPCIÓN	FIGURA
1	<p>Proceso de selección de material. Se define como subproducto a trabajar el que se encuentra en condiciones húmedas definidas por el tiempo de separación de la planta para evitar el inicio del proceso de descomposición y aprovechamiento de la materia fibrosa para dar mayor consistencia al experimento.</p>	 <p>Subproducto Fresco</p>  <p>Subproducto seco</p> <p>Fuente: Autor</p>
2	<p>El experimento se realizó en la Unidad de Investigación y Extensión Agroindustrial de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia seccional Duitama, contando inicialmente con una máquina licuadora tipo industrial con capacidad de 15 Lts. para desfibrar el subproducto.</p>	

		 <p>Fuente: Autor</p>
3	<p>Posterior al licuado del subproducto se procedió al secado al aire libre, donde se dividió la cantidad licuada en pequeños cuadros de 15 cm x15 cm para facilitar el secado.</p> <p>Para el desarrollo de esta fase, se tuvo en cuenta la humedad inicial y la humedad final para establecer peso del producto en su aplicación en la manta.</p>	  <p>Fuente: Autor</p>
4	<p>Una vez preparado el aglomerante (Colapiscis+Glicerina+H₂O) se incorporó el subproducto a dicha mezcla. Tiempo de mezclado de 3 a 5 minutos. Homogeneización por observación.</p>	  <p>Fuente: Autor</p>

5	<p>Realizado el mezclado de todos los componentes se procedió a la ubicación sobre una superficie estable para elaborar de manera manual la manta teniendo control, mediante elementos de medición, sobre el grosor final de la manta que se consideró de 8 mm.</p>	 <p>Fuente: Autor</p>
5.1	<p>Paralelo a este experimento se procedió al desarrollo de otra manta con características similares como se ha descrito anteriormente. Para el desarrollo de esta manta se consideró la utilización de almidón de maíz ((C₆H₁₀O₅)_n).</p>	 <p>Fuente: Autor</p>
6	<p>Posterior a la ubicación, se estableció un tiempo de espera para la obtención de las dos mantas considerado en 2 días (tiempo en el cual la manta realizada en Colapiscis+Glicerina+H₂O tuvo una consistencia homogénea que permitía su manipulación, mientras que la manta de comparación con (C₆H₁₀O₅)_n, necesitó de 4 días para su secado total (gelatinización) y posterior manipulación, motivo por el cual se establece el uso de Colapiscis+Glicerina+H₂O para el proyecto a partir de la mezcla de menor tiempo de secado y de mayor compactación-homogeneización).</p>	
7	<p>Se presenta una muestra de la manta realizada con Colapiscis+Glicerina+H₂O, presentando total elasticidad y compactación.</p>	

		 <p>Fuente: Autor</p>
8	<p>Se presenta una muestra de la manta realizada con $C_6H_{10}O_5$n, en total compactación. Dicha muestra se ubicó sobre el medio natural.</p>	  <p>Fuente: Autor</p>

Nota: Para complementar el desarrollo del experimento final se consideró la Intensidad de Transpiración de las chalas de maíz (subproducto analizado) teniendo en cuenta el peso, humedad relativa, temperatura y otros factores secundarios. El valor resultante se da en valor porcentual. La medición se realizó bajo la fórmula:

$$IT = \frac{Pp}{Pi * t} * 100\%$$

Dónde,

IT = Intensidad de Transpiración

Pp = Pérdida de Peso

Pi = peso inicial

t = tiempo

Dicha consideración se toma principalmente, debido a la importancia que se puede tener respecto a la consistencia de la manta (dado por cantidades y tiempo) y su posterior procesamiento a escala industrial.

3.4.1. Equipos utilizados

Para la realización de las pruebas y mediciones se utilizó:

- LICUADORA INDUSTRIAL MARCA JAVAR (CAP. 20 LT)

Características

Licuadora tipo basculante con motor **SIEMENS** de 1/2 Hp

- * 3600 rpm
- * Sistema térmico para la humedad
- * Sello mecánico tipo importado, fabricado en teflón
- * Caucho especiales para alimentos
- * Cuchillas en lamina tipo Fleje para corte en Acero inoxidable antidesgaste.
- * Interior y exterior de la licuadora en acero 304.

- TERMOMETRO DIGITAL INFRAROJO, Modelo: OS-FS, Marca: OMEGA

Características

Rango de medición: -33 a 220°C (-27 A 428°F)

Indicación mínima: 0.1 °C ó °F

Exactitud de la medición: +-2% de la lectura ó +-2°C

Tiempo de respuesta: 1 segundo.

Campo de visión: 1:1 relación óptica.

Emisividad: 0.95 por defecto. Ajustable entre 0.01 y 1.

Vida de la batería: 40 horas de uso continuo (autoapagado después de 15 segundos)

Alimentación: Una batería HHF20

Dimensiones: 18 x 37 x 68 mm

Peso: 32 g

- BALANZA ELECTRÓNICA, Modelo 308, Marca BBG

Características

Capacidad y precisión: 30 kg x 2g

15 kg x 1g

7 kg x 0,5g.
3 kg x 0,2g.
1,5kg x 0,1g.

Plato en acero inoxidable de 25 x 22 cm
Batería recargable incorporada para 20 horas de trabajo.
Display LED de 1,5cm.

- TERMO-HIGROMETRO DIGITAL, Marca BRIXCO

Características

Rápida respuesta y alta precisión
Display con luz posterior
Data Hold/Max Hold
Punto de rocío y bulbo húmedo
Rango de Humedad: 0-100% HR
Rango de Temperatura: -30+100°C/-22+199°F
Temperatura Punto de rocío: -30+100°C/-22+199°F
Temperatura bulbo húmedo: 0+80°C/32+176°F
Dimensiones: 255x45x34mm
Peso: 200 g
Batería 9V (incluida)

- CONTENEDORES INDUSTRIALES (diferentes capacidades desde 1L hasta 20L)

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

El subproducto utilizado (chapas del maíz) fue sometido inicialmente a la búsqueda de las condiciones óptimas (Ver Tabla 13) para determinar la consistencia tanto de la fibra del subproducto como la del material mezclado con el aglomerante. Posteriormente se continuó con los procesos de licuado, secado y mezclado.

Día #	Peso	H.R (*)	Tº	I.T	% I.T	Fecha	Hora
0	40,3	74,30%	15ºC	-		16/03/2010	10:00 AM
1	37,2	78,20%	16ºC	0,0769231	7,6923077	17/03/2010	10:00 AM
2	34,1	71,10%	14ºC	0,0833333	8,3333333	18/03/2010	10:00 AM
3	31,6	77,00%	15ºC	0,0733138	7,3313783	19/03/2010	10:00 AM
4	28,6	80,50%	16ºC	0,0949367	9,4936709	20/03/2010	10:00 AM
5	25,8	73,00%	15ºC	0,0979021	9,7902098	21/03/2010	10:00 AM
6	22,9	72,00%	14ºC	0,1124031	11,24031	22/03/2010	10:00 AM
7	19,6	79,60%	16ºC	0,1441048	14,41048	23/03/2010	10:00 AM
8	16,6	70,80%	14ºC	0,1530612	15,306122	24/03/2010	10:00 AM
9	14,1	76,40%	15ºC	0,1506024	15,060241	25/03/2010	10:00 AM
10	10,8	75,00%	16ºC	0,2340426	23,404255	26/03/2010	10:00 AM
11	7,9	74,20%	16ºC	0,2685185	26,851852	27/03/2010	10:00 AM

Convenciones

H.R.: Humedad Relativa

Tº: Temperatura

I.T. Intensidad de Transpiración

Tabla 13. Condiciones óptimas para selección de material

Fuente: Autor

Se aclara que el peso está determinado a partir del día 0 teniendo en cuenta una hoja de maíz con características de maduración en condiciones normales y dimensiones dadas al azar por la escogencia del material.

En relación con la intensidad de transpiración, se deduce que es en el día 7 donde se alcanzaron las condiciones requeridas para la utilización del subproducto (posterior a la operación de licuado).

Licuada: De este proceso se obtuvo el material desfibrado

Secado: Se realizó el secado del subproducto mediante la división en cuadrados que contenían 40 gr de material aprox. (Ver Fig 23). Todas las pruebas fueron realizadas bajo condiciones de laboratorio (Tº, H.R)

Mezclado: una vez seco el material se procedió a la mezcla directamente con el aglomerante y se definió que el tiempo de secado fue de 2 días (gelatinización)



Figura 23. Cuadrados 15 x 15.
Fuente: Autor.

Compactación:

Dada por la consistencia de la mezcla, desprendimiento de material y residuo líquido (ya sea por descomposición inmediata del producto final o por falta de secado).

ANALISIS COMPARATIVO	
Colapiscis+Glicerina+H ₂ O	C ₆ H ₁₀ O ₅)n
 <p>Fuente: Autor</p>	<p>Se observa una placa homogénea sobre el subproducto formando así la manta. Dimensiones: 35 cm x 25 cm x 1.5 cm</p> <p>La manta, posterior al secado, adopta, una consistencia rígida, flexibilidad nula, un alto índice de biodegradabilidad debido al producto utilizado. Dimensiones: 35 cm x 25 cm x 1.5 cm</p>

 <p>Fuente: Autor</p>	<p>La manta, posterior a su secado, permite una rápida identificación visual de propiedades de flexibilidad, consistencia, y biodegradabilidad a partir de sus componentes naturales.</p>	 <p>Fuente: Autor</p>	
 <p>Fuente: Autor</p>	<p>La manta no presenta ataque de hongos, bacterias o insectos pasados 4 días después de su fabricación y gelatinización. (Condiciones internas en el laboratorio).</p>	<p>En la manta hay presencia de hongos y bacterias (se realizó análisis microscópico a una muestra identificándose como principal bacteria degradante <i>Aeromonas hydrophila.</i>) (Condiciones internas de laboratorio).</p>	 <p>Fuente: Autor</p>
 <p>Fuente: Autor</p>	<p>Puesta sobre el contexto analizado (tiempo de permanencia en el sitio, 30 días), se observa que facilita la revegetación de carácter natural por parte de <i>Pennisetum clandestinum.</i></p>	<p>En el contexto (posterior a 30 días de ubicada la muestra de la manta) no se determina ningún grado de biodegradación o incremento en revegetación.</p>	 <p>Fuente: Autor</p>

	*(Ver comportamiento final de los taludes).		
 <p>Fuente: Autor</p>	<p>Posterior a 35 días se observa una clara descomposición del material sobre la superficie, indicando la adaptabilidad de la manta, su pertinencia como sustrato para conservar las condiciones del suelo (no hay alteraciones en pH) y el aporte que se realiza a los microecosistemas presentes en el medio.</p>	<p>Pasados 35 días posterior a la ubicación final, se observa la aparición de insectos <i>Armadillium vulgare</i> y se presenta una coloración rojiza sobre la manta percibiéndose un proceso de descomposición del material.</p>	 <p>Fuente: Autor</p>

El tiempo de degradación de la manta está condicionado principalmente por las fuerzas activas, pero en condiciones ya establecidas según la región analizada, se descompone en un tiempo entre 30 y 40 días (según Humedad, temperatura, entre otros.)

4.1. COMPORTAMIENTO FRENTE AL AGUA

Es importante evaluar el comportamiento de la manta frente a la retención de agua por ser uno de los agentes (fuerzas) presentes en el momento de la biodegradación del producto, debido a las escorrentías que se pueden presentar.

Para la realización de esta prueba se siguió el procedimiento determinado por la Norma Técnica Colombiana NTC 1027 “Determinación de los efectos de productos químicos líquidos, incluyendo el agua, en los materiales plásticos”, la cual brindó la posibilidad de analizar, a través de la observación continua, el proceso de degradación de la manta.

Se tomó una muestra de 10 cm x 10 cm y se determinó su peso inicial. A continuación dichas muestras (probeta) se sumergieron dentro de un recipiente que contenía el líquido para analizar (H₂O), en este caso agua, y permanecieron allí por 24 horas según lo establecido en la norma. Al retirar el líquido se pesó y se midió nuevamente. La muestra se llevó a un horno a una Tº entre 47ºC a 50ºC por 2 horas, transcurridas las cuales se midió nuevamente su peso.

Los resultados de esta prueba se reportaron tanto en incremento o pérdida de peso como en cambio en el área y cambios en la apariencia. Los resultados de las muestras analizadas se consignan a continuación (Ver Tabla 14):

Material	Incremento en masa	Incremento de dimensiones	Apariencia Física
Muestra Manta Colapiscis+Glicerina+H ₂ O	35,8%	10.3%	Moderada
Muestra Manta (C ₆ H ₁₀ O ₅)n	33.2%	1.2%	Moderada

Tabla 14. Comportamiento frente al agua
Fuente: Autor

De los resultados del ensayo, se observó que todas las muestras son susceptibles a la degradación por agua, lo cual favorece las condiciones de degradabilidad de la manta brindado a su vez, nutrientes a la superficie del talud para facilitar la revegetación y, finalmente, la conservación de las propiedades, que en un principio, es lo que se busca con este proyecto. De no retener el agua la manta no se descompondría por agentes externos y haría más complejo el proceso de biodegradabilidad.

4.2. COMPORTAMIENTO FINAL DE LOS TALUDES



T.C.1: pendiente 200%, relación 1H:2V (6m:12m)+/-1.
Se monitoreó la muestra colocada, evidenciando la descomposición parcial de ella, contribuyendo al crecimiento de *Pennisetum clandestinum* y malezas.

Figura 24. T.C.1
Fuente: Autor



T.C.2: pendiente 200%, relación 1H:2V (5m:10m)+/-1.
Se monitoreó la muestra colocada en uno de los extremos del talud, evidenciando la descomposición parcial de ella, pero en este caso, no se evidenció crecimiento de malezas ni *Pennisetum clandestinum*. Solo se observa la biodegradabilidad, después del tiempo de análisis.

Figura 25. T.C.2
Fuente: Autor

Nota: En T.C.1 (Ver Fig 24), T.C.3 (Ver Fig 26) y T.C.4 (Ver Fig 27) se evidencia la biodegradabilidad de la manta, el crecimiento de *Pennisetum clandestinum* y la aparición de malezas en algunas cercanías a la muestra colocada.

En T.C.2 (Ver Fig 25) sólo se observa la biodegradabilidad como característica positiva, dando un resultado no satisfactorio frente al crecimiento y/o aparición de *Pennisetum clandestinum* y malezas. Es importante aclarar que las fuerzas activas tienen una alta incidencia tanto en la biodegradabilidad como en el crecimiento de *Pennisetum clandestinum* y malezas, ya que frente a lo sucedido en el T.C.3, no se observó sino únicamente la primera característica.



T.C.3: pendiente 200%, relación 1H:2V (10m:20m)+/-1.
Se monitoreó la muestra colocada, evidenciando la descomposición parcial de ella, contribuyendo al crecimiento de *Pennisetum clandestinum* y malezas.

Figura 26. T.C.3
Fuente: Autor



T.C.4: pendiente 200%, relación 1H:2V (1.5m:3m)+/-1.
Se monitoreó la muestra colocada, evidenciando la descomposición parcial de ella, contribuyendo al crecimiento de *Pennisetum clandestinum* y malezas. Hay acumulación de material orgánico alrededor de la muestra colocada. (hojas secas, ramas, piedras).

Figura 27. T.C.4
Fuente: Autor

El desarrollo del proyecto permitió establecer que es una manta para estabilizar²⁹ taludes, aportándole principalmente nutrientes al suelo para que mantuviera la estructura y así, posteriormente, permitiera el desarrollo de base vegetal (Ver Fig 28) para generar mantos verdes. Por lo anterior, cabe resaltar que pruebas de carácter mecánico (tracción, compresión, flexión, torsión, entre otros.) no se hacen necesarias debido a que no se propende directamente por cuantificar dichas pruebas y aplicarlas a la manta, ya que lo que se busca es aprovechar residuos de procesos agrícolas, realizar una manta y llevarla al talud para verificar de primera instancia su biodegradabilidad y los aportes que puedan brindar los materiales que componen dicha manta, para posterior realizar mediciones acerca de la estabilización y de hacerse esto, revisar que tipo de estructuras podrían complementar el uso de la manta biodegradable.

²⁹ La estabilización de taludes está dada por diferentes fases, entre ellas la revegetación que actúa como agente regulador de los procesos que intervienen en la generación de pérdidas de suelo. Según Gray y Leiser, (1982) el papel de la revegetación tiene que ver entre otras características con la conservación de propiedades del talud.

Tomado de: http://www.unalmed.edu.co/~poboyca/documentos/documentos1/documentos-Juan%20Diego/Plnaifi_Cuencas_Pregado/Cap%203%20papel%20vegetaci%F3n%20libro%20erosi%F3n.pdf
f Consultado el 03/01/2011.

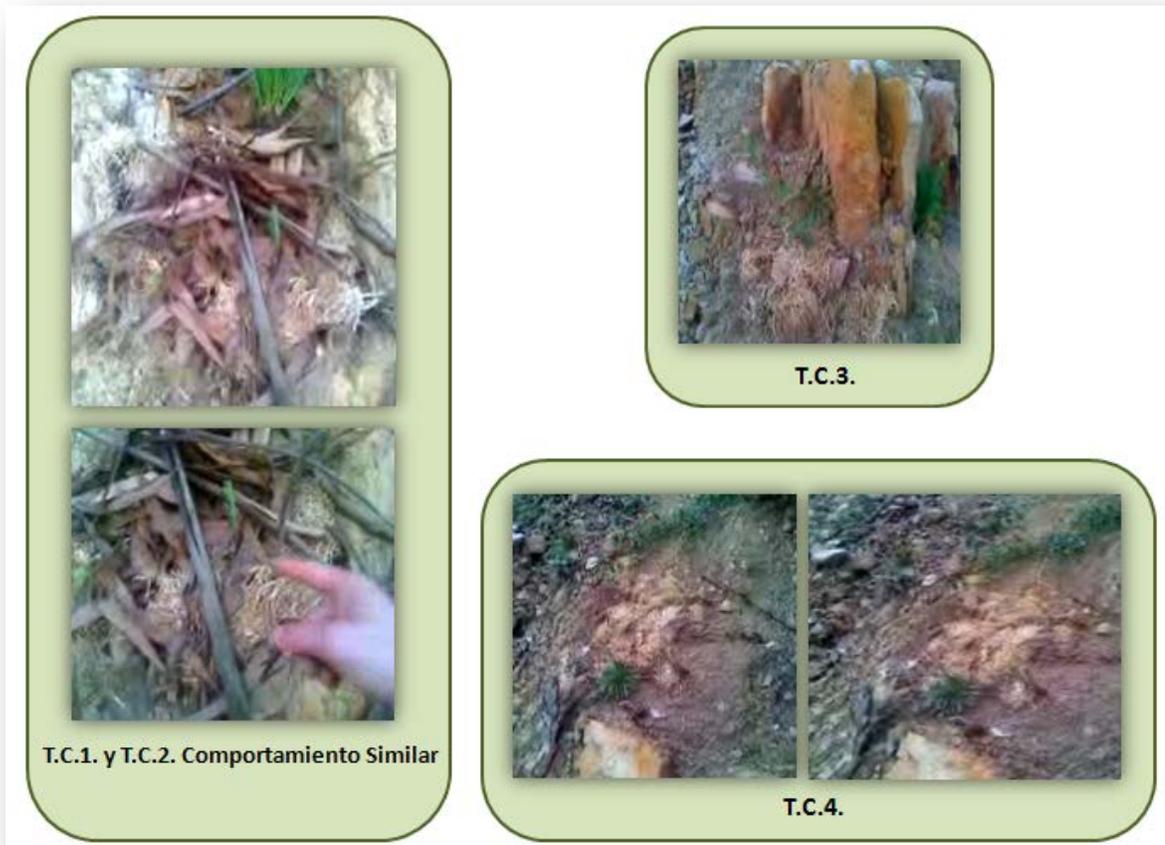


Figura 28. Imágenes complementarias de Taludes de Control
Fuente: Autor

La manta mejora las propiedades del suelo gracias a que la materia orgánica favorece la estabilidad estructural de la superficie donde se ubicó, debido al aumento del contenido en macronutrientes N (principalmente por ser componente tanto del material fibroso como del aglomerante (Gelatina)), P,K, y micronutrientes; aumentó su capacidad de retención de agua en el suelo debido al comportamiento frente al líquido (ver tabla 13.), permitiendo su posterior biodegradación. Finalmente la manta actuó como soporte y alimento de los microorganismos e insectos ya que viven a expensas de material orgánico.

Es importante relacionar que en el 46º Congreso Internacional de ACODAL Sociedad Ambiente y Futuro del año 2003, se presentó la ponencia *Gestión de Biosólidos en Colombia*, en donde se establecieron los *biosólidos*³⁰ como elemento aprovechable para la

³⁰ Según Dáguer (2003), “Los biosólidos son un producto originado después de un proceso de estabilización de lodos orgánicos provenientes del tratamiento de las aguas residuales”.

lombricultura, bioremediación de suelos y uno de los aspectos importantes, la revegetación de taludes.

A continuación se presenta un cuadro comparativo donde se evidencian características de índole ambiental a tener en cuenta entre los productos más utilizados en la conservación de taludes (Ver Fig 29):



Figura 29. Cuadro Comparativo
Fuente: Autor

Como resultado del proyecto se evidencia que en Colombia no se han desarrollado proyectos de está índole pero si se demuestra las nuevas aplicaciones dadas a diferentes residuos de procesos y subprocesos industriales y agrícolas, como es el caso de los biosólidos.

La poca investigación realizada sobre estos temas, hizo que Fernández-Castillo (*et. al.* 2008) realizara la evaluación de dos ecotécnicas³¹ para facilitar la revegetación y

³¹ Término asimilado como “un instrumento desarrollado para aprovechar eficientemente los recursos naturales y materiales y permitir la elaboración de productos y servicios, así como el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y materiales diversos para la vida diaria”. Tomado de COMISIÓN NACIONAL PARA EL DESARROLLO DE LOS PUEBLOS INDÍGENAS. México 2010.

naturación de taludes rocosos, lo cual permitió establecer que la hidrosiembra se comporta mejor que la geomalla de yute utilizada. Lo anterior permitió establecer una relación de materiales similares con este proyecto dando como referencia la posibilidad de la utilización de materiales biodegradables para la revegetación de taludes.

Bajo la misma premisa del proyecto (utilización de materiales amigables), se han venido desarrollando agromantos³² que han permitido el control de erosiones (de alguna manera similar al tema tratado) mediante su instalación en diferentes suelos, siendo un geosintético.

³² Desarrollado por la Empresa GEOSISTEMAS PAVCO S.A. de Mexichem. Productos de carácter sintético con componentes naturales como el yute para facilitar la revegetación.

CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

La mezcla realizada entre el subproducto (chala de maíz) y el material aglomerante (Colapiscis+Glicerina+H₂O), es la que presenta las condiciones adecuadas para ser trabajada y analizada a profundidad en el contexto ya definido, debido a sus propiedades de flexibilidad, biodegradabilidad y factibilidad de procesamiento.

Por el contrario, la manta desarrollada entre el material + (C₆H₁₀O₅)_n mostró condiciones de tiempo desfavorables y poca flexibilidad, lo que la hacía débil y con poca probabilidad de fabricación.

La utilización de iguales cantidades para la mezcla aglomerante (Colapiscis+Glicerina+H₂O) permitió una adecuada gelatinización de la manta brindando así, las propiedades buscadas para el cumplimiento de objetivos.

Los siguientes aspectos permitieron establecer las condiciones ideales para disponer del subproducto: 7 días posteriores al proceso de licuado, un peso entre 19 y 20 gramos (50% aproximadamente del peso inicial en día 0), Humedad Relativa de 79.60%, temperatura de 16°C e intensidad de transpiración entre el 14 y 15 %, teniendo en cuenta la ubicación geográfica del proyecto.

El desarrollo del proyecto se tomará como punto de partida para el continuo desarrollo tecnológico, buscando así un modelo de perfeccionamiento que contribuya tanto al aprovechamiento de materiales existentes en el contexto, como de productos y subproductos derivados de procesos orgánicos agrícolas ya sean artesanales o industriales.

El empleo de materiales compuestos en la actualidad presenta múltiples ventajas para su uso en áreas tan diversas como la geotecnia, la edafología, entre otras.

En aplicaciones de ingeniería (especialmente civil) el empleo de materiales compuestos no está tan extendido, debido principalmente al desconocimiento que aún existe de estos materiales en cuanto a las prestaciones estructurales, biológicas y mecánicas que son capaces de aportar y, porque materiales tradicionales como son el concreto y el acero están ampliamente contrastados en todo el mundo, desde sus características ambientales hasta su uso exclusivamente en estabilización, mas no, en conservación.

Con el proyecto se corrobora lo planteado por Bochet y García-Fayos, 2004: *...las propiedades físicas y químicas de las zonas alteradas no son adecuadas para el establecimiento de la vegetación, ya que presentan suelos poco fértiles (escasez de nutrientes y de materia orgánica), de texturas poco equilibradas y/o pedregosas.* Es importante en este sentido considerar el efecto de la aplicación de la manta biodegradable, dado que da respuesta a la aplicación de nutrientes a partir de material orgánico y a la generación de microecosistemas.

Con base en los diseños planteados, el desarrollo de los materiales compuestos (manta conformada por el subproducto + aglomerante) se ven como una alternativa técnicamente viable para su uso en la conservación de las propiedades de los taludes y posible revegetación. Lo anterior, permitiendo un desarrollo futuro importante debido a las ventajas comparativas en relación con los materiales de uso tradicional como la lona (sistemas polisombra) o malla eslabonada metálica.

A su vez, frente al producto que se podría considerar sustituto como lo son las baldosas de pasto, se encuentra un claro aprovechamiento de residuos sin establecer cortes de la superficie para obtener el producto.

El referente teórico de la presente investigación se realizó, en su mayoría, con base en la información recopilada de carácter internacional por cuanto la divulgación de las investigaciones nacionales es limitada y de difícil acceso, lo cual puede generar repetitividad y demora en los procesos de la investigación y en el desconocimiento de lo que otros ya han logrado.

Este proyecto permitió plasmar el enfoque biosistémico del programa académico ya que se tuvo en cuenta la integración de tecnologías necesarias para lograr el máximo aprovechamiento de las materias primas sobre la base de los recursos locales y enfocadas a dar respuesta a las necesidades sociales.

5.2. RECOMENDACIONES

En la disciplina del Diseño Industrial es importante el establecimiento de nuevos campos de acción, ya sea para el desarrollo de productos, búsqueda de nuevos materiales para su fabricación o realizar procesos de investigación multidisciplinarios. Dicha investigación permite generar en los diseñadores altos estándares de competitividad, brindando posibilidades de desempeñarse por fuera de lo tradicional (diseño p.o.p., Higiene Industrial, sistemas de transporte, entre otros). Por lo anterior, es fundamental un cambio en la formación hacia la multidisciplinariedad puesto que, como se evidencia, la Biología, la Ingeniería, entre otras, aportan de manera significativa a desarrollar proyectos de aprovechamiento de recursos disponibles.

Desarrollar nuevos modelos experimentales a partir de los recursos naturales, partiendo del análisis de los residuos agrícolas hasta llegar a la obtención por que no de un composite o un aglomerado de material biodegradable con diferentes características de revegetación de taludes no solo para obras viales sino para otros contextos.

Para investigaciones posteriores deben ser prioritarios 1). La indagación de diferentes superficies para la ubicación y seguimiento de la manta fabricada, ya que permitiría establecer que variables deben ser analizadas, 2). La determinación de diferentes pendientes y relaciones en los taludes para conocer mayores aplicaciones y 3). Desarrollar una estructura de costos que permita evidenciar la viabilidad comercial de la manta frente a los productos existentes en el mercado, partiendo de unidades de medida como cm^2 , m^2 , entre otros.

Tener en cuenta y aplicar la normatividad existente referente al uso de materiales en el contexto vial, ya que es fundamental la realización de pruebas que contribuyan al mejoramiento de la manta en pro de cambiar un modelo experimental en un producto comercial e industrial.

Realizar estudios de suelos en diferentes regiones del país para establecer condiciones óptimas que permitan llevar la manta experimental realizada a niveles de geotextiles industriales existentes, ya que permitiría la adaptación a diferentes condiciones medioambientales y así verificar su rendimiento y comportamiento.

Complementar los proyectos de índole biosistémica con el tema de análisis de aspectos e impactos ambientales de los productos, procesos y/o resultados obtenidos de las

investigaciones para que se pueda obtener su perfil ambiental y posterior, facilitar su comercialización y usos industriales.

Persistir en la indagación sobre el enfoque biosistémico en futuros proyectos en el área para estructurar o consolidar líneas de investigación tanto a nivel de pregrado como de postgrado, en aquellas disciplinas que abordan este enfoque como alternativas hacia el desarrollo sostenible, especialmente en la optimización de recursos disponibles y en los procesos de fabricación mediante una industrialización de estos, que aminore costos, tiempos, materias primas, entre otros.

BIBLIOGRAFÍA

Acosta, H.; Villada, H. & Ramírez, J. (2006). *Envejecimiento de almidones termoplásticos agrios de yuca y nativos de papa por Microscopía de Fuerza Atómica*. Información Tecnológica 17(3):71-78.

Águila, I. (2001). *Cementos puzolánicos, una alternativa para Venezuela*. Tecnología y Construcción. IDEC-FAUUCV, Caracas, 17-III; 27-34.

Ashby, M., Shercliff, H., Cebon, D. (2007) *Materials, engineering, science, processing and design*. M. Elsevier. 2 ed. Cambridge University Press. Cambridge.

Barret, r.K. & White, J.L. (1991). *Rock fall prediction and control*. Proc. National Symp. on Highway and Railway Slope Maintenance, Assoc. of Eng. Geol., Chicago, pp 23-40.

Blacido, D.; Sobral, P. & F.C. (2005). *Menegalli, Development and characterization of biofilms based on Amaranth flour (Amaranthus caudatus)*. Journal of Food Engineering 67:215-223.

Bochet, E., García-Fayos, P. & Tormo, J. (2004). Restauración y revegetación de taludes de carreteras en ambientes mediterráneos semiáridos: procesos edáficos determinantes para el éxito. *Ecosistemas*, 18 (2), 79-90.

Bouyssou, D., Marchant, T., Pirlot, M., Tsoukias, A., Vinke, P. (2000). Evaluation and decision models: A critical perspective. Kluwer Academic Publisher, p 120.

Brans, J. P. & Vincke, P. H. (1985): "A preference ranking organization method, the PROMETHEE method", Management Science, vol. 31, pp. 647-656.

Buonocore, G. G., Del Nobile, M. A., Panizza, A., Corbo, M. R., & Nicolais, L. (2003). A general approach to describe the antimicrobial agent release from highly swellable films intended for food packaging applications. *Journal of Controlled Release*, 90 (1), 97-107.

Buonocore, G. G., Sinigaglia, M., Corbo, M. R., Bevilacqua, A., La Notte, E., & Del Nobile, M. A. (2004). Controlled release of antimicrobial compounds from highly swellable polymers. *Journal of Food Protection*, 67(6), 1190-1194.

Cagri, A., Ustunol, Z., & Ryser, E. T. (2004). Antimicrobial edible films and coatings. *Journal of Food Protection*, 67(4), 833-848.

Capuz, S. & Gómez, T. (2004). *Ecodiseño. Ingeniería del ciclo de vida para el desarrollo de productos sostenibles*. (2da. Ed.) Universidad Politécnica de Valencia. México. Alfaomega.

Charter, M. y Tischner, U. (2001). *Sustainable Solutions. Developing Products and Services for the Future*. Greenleaf Publishing Limited. Sheffield.

Fernández-Castillo, M., Castañeda, M. & Monroy, A. (2008). *Mosaicos de vegetación para la naturación de taludes y comparación de ecotécnicas de establecimiento de plantas: hidrosiembra vs. geomalla*. *Investigación Universitaria Interdisciplinaria*. 7(7), 45-50.

Finkenstadt, V & Willett, J. (2004). *A direct-current resistance technique for determining moisture content in native starches and starch-based plasticized materials*. *Carbohydrate Polymer* 55:149-154.

Floyd, J. (2007) *Wall Control Blasting Techniques: Special Blasting Techniques Proceedings* Reno, pp. 1-67.

Goughnour, R.R., Sung J.T. & Ramsey J.S, (1990). *“Slide Correction by Stone Columns”, Deep Foundation Improvements: Design, Construction, and Testing*, M.I. Esrig and R.C. Bachus, Eds., ATM STP – 1089.

Gray D. H. & Sotir R. B. (1996) "*Biotechnical and soil Bioengineering Slope stabilization*". John Wiley & Sons, Inc. 378.

Grossi G., Andrea (2008). *Análisis y sistematización de los criterios que determinan la red vial estructurante de Chile*. Tesis de Maestría. Pontificia Universidad Católica de Chile. Chile.

Hanna, J. (2004). *Functional properties of extruded foam composites of starch acetate and corn cob fiber*. *Industrial Crops and Products* 19:255-269.

Holtz R.D., Schuster R.L.(1996) "*Stabilization of soil slopes*". *Landslides investigation and mitigation*. Special report 247. Transportation research Board. National research council. 439-473.

Juran I., Benslimane A. & Bruce D.A. (1996) "Slope stabilization by micropile reinforcement". *Proceedings of the seventh International Symposium on landslides*. Trondheim, pp1715-1726.

Keeney, R.L. & Raiffa, H. (1976), *Decision with Multiple Objectives: Preferences and Value-Tradeoffs*, Wiley, New York.

Laohakunjit, N. & Noomhorm, A. (2004). *Effect of plasticizers on mechanical and barrier properties of rice starch films*. *Starch/Stärke*, (56), 348.

Llanos Córdova, Enely Mariela. (2009). *Capacidad antioxidante de tres variedades de papa (Solanum tuberosum) con y sin cáscara : blanca, amarilla y rosada*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Medicina Humana. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Programa Cybertesis Perú.

Mali, S., Grossmann M.V.E., García, M.A., Martino, M.N. & Zaritzky, N.E., (2002). Microstructural characterization of yam starch films. *Carbohydrate Polymers*, (50), 379.

Mangonon, L. (2001) *“Ciencia de Materiales: Selección y Diseño”*, Prentice Hall, México, pp 776.

Pachakis M, Anagnostopoulos A.G., Tsiambaos G., (1997) *“Landslides stabilization by large diameter piles”*. Proceeding International Symposium on Engineering Geology and the environment. Athens, 937-942.

Pareta, R. & M.J. Edirisinghe (2006). *A novel method for the preparation of starch films and coatings*, Carbohydr. Polym: 63 (3), 425-431.

Parra, D.; Tadini, C.; Ponce, P. & Lugao, A. (2004). *Mechanical properties and water vapor transmission in some blends of cassava starch edible films*. Carbohydrate Polymer 58:475-481.

Peesan, M.; Supaphol, P. & Ravani, R. (2005). *Preparation and characterization of hexanoyl chitosan/poly lactide blend films*. Carbohydrate Polymer 63(1): 1-8.

Roman F. , Cacuci D. (1996) *“Stability analysis and strengthening solutions of sliding slopes”*. Proceedings of the seventh International Symposium on landslides. Trondheim, 1783-1785.

Ryu, S.; Rhim, J.; Roh, H. & Kim, S. (2002). *Preparation and physical properties of zein-coated high-amylose corn starch film*. Food Science and Technology 35:680-686.

Shamekin, S.; Myllärihen, P.; Poutanen, K. & Forssell, P. (2002). *Film formation properties of potato starch hydrolysates*. Starch/Stärke 54:20-24.

Smits, A.; Kruiskamp, P.; Van Soes, J. & Vliegthart, J. (2003). *The influence of various small plasticisers and malto-oligosaccharides on the retrogradation of (partly) gelatinized starch*. Carbohydrate Polymer 51:417-424.

Suárez Díaz, J. (2001) *“Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales”*. Universidad Industrial de Santander. pp 1-20.

Transportation Research Board (1996). *"Landslides investigation and mitigation"*, Special report 247. Washington, 675.

Van Soest, J.J.G. & otros tres autores. (1996b); *Changes in the mechanical properties of thermoplastic potato starch in relation with changes in B-type crystallinity*, Carbohydr. Polym: 29 (3).

Varnes D.J. (1978). *"Slope movement types and processes"*. Special report 176: Landslides: Analysis and control (R.L. Schuster and R.J. Krizek, eds.), TRB, National Research Council, Washington, D.C.,11-33.

Von Neumann, J .; Morgenstern, O. (1944). *Theory of games and economic behavior*. Princeton University Press, Princeton.

Wang, Y.; Rakotonirainy, M. & Papua, W. (2003). *Thermal behavior of Zeína-base biodegradable films*. Starch/Stärke 55:25-29.

Wyllie D.C., Norrish N.I. (1996). *"Stabilization of rock slopes"*. Landslides investigation and mitigation. Special report 247. Transportation Research Board. National research council. 474-504.

Zhai, M., F. Yoshii. & T. Kumeb; *Radiation of starch-based*, Carbohydr. Polym: 52(3), 311–317 (2003).

INFOGRAFÍA

Acosta, H. *Morfología superficial de almidones termoplásticos agro de yuca y nativo de papa observados por microscopía óptica y microscopía de fuerza atómica*, Rev. Inf. Tecnol, ISSN: 0718-0764 (en línea), 17 (3), 63-70 (2006a). <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sciarttext&pid=S0718-07642006000300010&lng=es&nrm=iso-&tlng=es>. Acceso: 15 de marzo (2010).

Ayala, M., Peñuela, G. & Montoya, J. *Membrane processes for treatment of acid yellow color 23 highly loaded residual waters*. Rev.fac.ing.univ. Antioquia. [online]. Jan./Jun. 2006, no.38, p.53-63. Available from World Wide Web: <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-62302006000400005&lng=en&nrm=iso>. ISSN 0120-6230. Acceso: 23 de marzo (2010).

Magc (Medi Ambient i Habitatge, Generalitat de Catalunya) 2008. www.gencat.cat, Acceso: 18 de Febrero (2010)

Mater Bi; 2007. <http://www.promotions.org.uk/biodegradableproduc.htm>. Acceso: 24 de Noviembre (2009).

Motato R., Karina E., Mejia G., Amanda I. & León P., Ángela. EVALUATION OF THE AGROINDUSTRIAL WASTES OF BANANA (*Musa paradisiaca*) AND SAWDUST OF ABARCO (*Cariniana pyriformis*) AS SUBSTRATES FOR THE CULTURE OF THE FUNGUS *Pleurotus djamor*. Available from World Wide Web: <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-40042006000100004&lng=en&nrm=iso>. ISSN 0121-4004. Acceso: 17 de marzo (2010).

Novamont. TPS for Industrial Non-Food Uses; 2007. <http://www.biomatnet.org/secure/Other/S1281.htm>. Acceso: 14 de Marzo (2010).

Ucar, R. (2003), "La Estabilidad de Taludes en Macizos Rocosos Aplicando el Criterio Empírico de Rotura de Hoek & Brown", Publicaciones de la Sociedad Venezolana de Geotecnia, www.svdg.org.ve, 16 pp. Acceso: 01 de mayo (2010).

