

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE AGRONOMÍA



EVALUACIÓN DE FIBRAS A SER USADAS EN MEZCLAS CON FINES DE HIDROSIEMBRA

ARTURO GARCÍA GIL

Maracay, julio 2015

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE AGRONOMÍA

EVALUACIÓN DE FIBRAS A SER USADAS EN MEZCLAS CON FINES DE HIDROSIEMBRA

ARTURO GARCÍA GIL
TUTOR: ÓSCAR RODRÍGUEZ

**Trabajo presentado como parte de los requisitos para optar al Título de Ingeniero Agrónomo
que otorga la Universidad Central de Venezuela**

Maracay, julio 2015

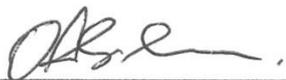
Los abajo firmantes, miembros del jurado examinador del Trabajo de Grado titulado: **EVALUACIÓN DE FIBRAS A SER USADAS EN MEZCLAS CON FINES DE HIDROSIEMBRA**, cuyo autor es el Br. **ARTURO A. GARCÍA GIL**, titular de la cédula de identidad N° **V-16.206.362**, certificamos que lo hemos leído y asistido a su defensa pública, y en nuestra opinión, reúne los requisitos necesarios de una adecuada presentación y es enteramente satisfactorio en alcance y calidad como Trabajo de Grado para optar al título de **INGENIERO AGRÓNOMO MENCIÓN FITOTECNIA**.

Veredicto que se otorga, en la ciudad de Maracay a los 27 días de mes de julio del año 2015.

Prof^a. Adriana Florentino de A.

C.I. 7.255.931

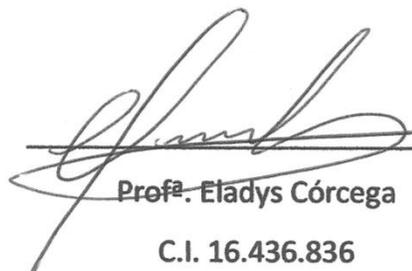
Jurado principal



Prof. Óscar Silva

C.I. 6.843.153

Jurado suplente



Prof^a. Eladys Córcega

C.I. 16.436.836

Jurado principal



Prof. Óscar Rodríguez P.

C.I. 4.771.415

Coordinador de jurado

*A DIOS Padre, Creador del Cielo y de la Tierra,
Al Hijo Jesucristo, Nuestro Redentor y Salvador,
Al Espíritu Santo, nuestro Ayudador y Consolador,
Sea la Gloria por los siglos de los siglos, amen.*

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a mis padres Rey e Hilda por su abnegada contribución durante todos mis estudios, por su apoyo moral y ejemplo constante para seguir adelante en los momentos difíciles. A mis amados hermanos Gerardo, Ana y Luis quienes han sido ejemplares en su comportamiento y apoyo en todo momento.

Al cuerpo docente de la Facultad de Agronomía, quienes con sus enseñanzas y ejemplo inculcaron en mí un afecto especial hacia la Ciencia y el respeto a la Naturaleza.

Al tutor, Prof. Oscar Rodríguez, por su paciencia y ética de trabajo, siendo un motor para poder culminar esta investigación. De corazón muy agradecido por su ayuda en todos los ámbitos.

A los miembros del jurado, Prof^a Adriana Florentino, Prof^a Eladys Córcega y Prof. Óscar Silva, quienes desde el principio de esta investigación ofrecieron su colaboración y orientación permanente, manteniendo un interés constante por el desarrollo de la misma.

A mis compañeros de clase, que son muchos, pero su amistad y compañerismo fueron fundamentales para lograr llegar hasta acá.

A mi futura esposa, Christel quien ha soportado muchas cosas por apoyarme hasta lograr esta meta, y haber sido colaboradora directa en distintas fases de esta investigación.

A mis pastores espirituales Leonardo e Hilda Cardozo, y a los miembros de la Iglesia Evangélica Betania, quienes con sus oraciones y apoyo han permitido culminar con éxito mi carrera.

A mis hermanos y amigos, Bryan, Pacheco, Kénifer y Génesis, quienes fueron colaboradores directos durante las fases más duras de esta investigación. Al Señor Ronalson del Laboratorio de Suelos de Edafología de la FAGRO por su colaboración durante el desarrollo de los experimentos.

¡Gracias! ¡DIOS los bendiga!

La hidrosiembra es una técnica de restauración ecológica que permite la formación de una cobertura protectora sobre la superficie del suelo contra los efectos erosivos del agua y el aire, y a su vez favorece el desarrollo de una vegetación pionera. En Venezuela, su aplicación está limitada por la importación de prácticamente todos los componentes de la mezcla. En este trabajo se busca evaluar fibras naturales de origen local y mezclas de las mismas que puedan ser usadas con fines de hidrosiembra. Los tratamientos comparados fueron: fibras de algodón (A), bagazo de caña de azúcar (B), fibra de coco (C), bagazo con coco (BC, 3:2), coco con papel (CP; 3:2), aguja pino, concha arroz y papel (NRP, 4:3:3), vetiver (V), vetiver, algodón y papel (VAP 4:3:3), el producto comercial Flexterra® HP-FGM™ (F) y un sustrato sin ningún tipo de fibra (S). La evaluación de las mezclas se fundamentó en tres criterios que son: eficiencia en el control de la erosión, establecimiento vegetativo y longevidad funcional de las mezclas. Se realizaron ensayos y pruebas de laboratorio para medir retención de humedad, separabilidad, cobertura de la mezcla, germinación, sobrevivencia, cobertura vegetal, producción de biomasa y degradación de la mezcla en base a pérdida de peso y superficie; algunas de manera puntual y otras a través del tiempo. Se demostró que es factible utilizar las fibras de disponibilidad local para reemplazar productos comerciales en la hidrosiembra y de esta manera aplicar esta tecnología de forma más amplia en nuestro país, al disminuir los costos de importación de los elementos constituyentes. En general, la calificación definitiva a la hora de seleccionar una determinada fibra o combinación de estas en la mezcla con fines de hidrosiembra va a depender de las condiciones del sitio donde se va a aplicar y los objetivos perseguidos, conjuntamente con otras consideraciones económicas y técnicas, como por ejemplo, disponibilidad, costos, facilidad para la preparación de la mezcla y su aplicación.

Palabras clave: hidrosiembra, hidromanto, establecimiento vegetativo, control de erosión, longevidad funcional, hidrocobertura.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Veredicto	iii
Agradecimientos	v
Resumen	vi
Índice de Contenido	vii
Índice de Cuadros	ix
Índice de Figuras	x
Índice de Anexos	xi
CAPÍTULO I.....	1
Introducción.....	1
Objetivos de la Investigación	4
Objetivo General	4
Objetivos Específicos	4
CAPÍTULO II Antecedentes de la Investigación	5
La degradación de los suelos	5
Prácticas para el control de la erosión de los suelos	6
La Hidrosiembra: Técnica de restauración ecológica	13
Fibras vegetales con fines de hidrosiembra	15
Evaluación de mezclas de hidrosiembra	16
CAPÍTULO III Metodología	19
Ubicación de los ensayos.....	19
Descripción de los materiales seleccionados	19
a. El sustrato	19
b. Las fibras	20
c. La semilla	28
d. Agentes aglutinantes.....	29
e. Fertilizante:	29
Montaje de los experimentos.....	29
1. Caracterización de las fibras seleccionadas con fines de hidrosiembra.	29
2. Evaluación del control de erosión ofrecido por las mezclas de hidrosiembra ante el impacto de la gota de lluvia.....	30

3. Evaluación de las mezclas de hidrosiembra en el establecimiento de la vegetación.....	33
4. Evaluación de la longevidad funcional de las mezclas de hidrosiembra.....	39
Capítulo IV Resultados y Discusión	43
1. Caracterización de las fibras seleccionadas a ser usadas con fines de hidrosiembra.	43
Retención de humedad de las fibras a ser usadas con fines de hidrosiembra.	44
2. Evaluación de las mezclas con fines de hidrosiembra en el control de la erosión.	45
2.1. Evaluación de la erosión ante el impacto de la gota.	45
2.2. Evaluación de la cobertura inicial de las mezclas como indicador de control de la erosión.	48
3. Evaluación de las mezclas de hidrosiembra en el establecimiento de la vegetación.....	52
3.1. Germinación y sobrevivencia de las plántulas.	53
3.2. Cobertura de la vegetación.....	58
3.3. Caracterización biométrica de la vegetación.....	64
4. Evaluación de la longevidad funcional de las mezclas de hidrosiembra.....	70
5. Análisis comparativo de los tratamientos	73
Tratamiento con fibras de algodón (A):	77
Tratamiento con bagazo de caña de azúcar (B):.....	77
Tratamiento con bagazo caña de azúcar y fibra de coco (3B:2C):.....	78
Tratamiento con fibra de coco (C):	78
Tratamiento con fibra de coco y papel periódico (3C:2P):.....	79
Tratamiento con Flexterra® (F):	79
Tratamiento con acículas de pino, cascarilla de arroz y papel periódico (4N:3R:3P):.....	79
Tratamiento con fibras de vetiver (V):	79
Tratamiento con fibras de vetiver, algodón y papel periódico (4V:3A:3P):.....	80
Capítulo V Conclusiones y Recomendaciones	81
Conclusiones	81
Recomendaciones	84
Referencias bibliográficas	86
Anexos	93

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Ejemplos de prácticas de conservación agrupadas según su naturaleza.	8
Cuadro 2. Análisis físico-químico realizado al sustrato.....	20
Cuadro 3. Composición química del bagazo de caña.	22
Cuadro 4. Características físicas evaluadas por la empresa matriz al Flexterra®.	23
Cuadro 5. Fibras y mezclas de fibras utilizadas como acolchado (mulch) en los tratamientos....	28
Cuadro 6. Componentes de las mezclas de hidrosiembra para copas de salpicadura.....	32
Cuadro 7. Componentes de las mezclas de hidrosiembra para bandejas tipo A.	35
Cuadro 8. Componentes de las mezclas de hidrosiembra para bandejas Tipo B.	41
Cuadro 9. Características principales de las fibras seleccionadas con fines de hidrosiembra.	43
Cuadro 10. Capacidad de retención de humedad de las fibras.	44
Cuadro 11. Factor de separabilidad de las mezclas debido al tratamiento.....	47
Cuadro 12. Cobertura inicial de las mezclas (%) en cada tratamiento. Mediciones con la Grilla y CobCal	48
Cuadro 13. Ventajas y desventajas comparativas entre los métodos Grilla y CobCal.	52
Cuadro 14. Número de plantas vivas y máxima germinación registrada para cada tratamiento durante el ensayo.	55
Cuadro 15. Cobertura de la vegetación (%) alcanzada por cada tratamiento en varios periodos de medición.	58
Cuadro 16. Cobertura de la vegetación (%) en los tratamientos durante el ensayo.	61
Cuadro 17. Análisis de regresión lineal de la cobertura vegetal alcanzada por los tratamientos en función del tiempo.	62
Cuadro 18. Número de hojas producidas en cada tratamiento durante el tiempo.....	64
Cuadro 19. Altura promedio de las plántulas en cada tratamiento durante el tiempo.....	67
Cuadro 20. Pérdidas de material en base a peso y superficie cubierta.....	73
Cuadro 21. Categorización de las variables medidas.....	74
Cuadro 22. Baremo comparativo de los tratamientos en las variables medidas.	75
Cuadro 23. Comparación de los tratamientos en base a los criterios de evaluación de mezclas de hidrosiembra.	76

Figura 1. Uso de las técnicas de protección contra la erosión en ambientes intervenidos, según la pendiente de la ladera, basados en sistema de clasificación de materiales para control de erosión aplicados hidráulicamente (Adaptado de Lauro y Theisen, 2007).	12
Figura 2. Esquema del experimento en copas de salpicadura para estimar pérdidas de material por salpique.	31
Figura 3. Esquema del experimento en bandejas tipo A para evaluar el establecimiento vegetativo desarrollado en las mezclas de hidrosiembra.....	34
Figura 4. Esquema del experimento en bandejas tipo B para evaluar la longevidad funcional de las mezclas de hidrosiembra.	40
Figura 5. Factor de separabilidad de las mezclas por tratamiento.	46
Figura 6. Análisis de cobertura de las mezclas con Grilla y con CobCal 2.1.....	51
Figura 7. Promedios de máximos de germinación, sobrevivencia y de pérdidas de plántulas en cada tratamiento.	53
Figura 8. Porcentaje de plántulas germinadas durante varias etapas del ensayo para cada tratamiento.....	57
Figura 9. Cobertura alcanzada por la vegetación (%) en cada tratamiento con respecto al tiempo.	60
Figura 10. Análisis de Regresión lineal de la cobertura vegetal (%) a lo largo del ensayo.	63
Figura 11. Altura promedio alcanzada por las plántulas para cada tratamiento durante el ensayo.	66
Figura 12. Biomasa aérea producida por los tratamientos a las 16 semanas.....	68
Figura 13. Correlación lineal entre la materia seca producida y la cobertura vegetal alcanzada por los tratamientos.	69
Figura 14. Correlación entre materia seca y número de plantas.	70
Figura 15. Pérdidas de material (%) en cada tratamiento a los 4 meses.....	71

Anexo 1. Disposición de las bandejas tipo A y tipo B sobre los mesones del invernadero durante el ensayo.....	93
Anexo 2. Formato de registro semanal de datos de bandejas A.....	94
Anexo 3. Detalles sobre la preparación de las mezclas de hidrosiembra y desarrollo de los tratamientos en copas de salpicadura.....	95
Anexo 4. Detalles sobre la preparación de las mezclas de hidrosiembra y desarrollo de los tratamientos en bandejas tipo A.....	96
Anexo 5. Detalles sobre la preparación de las mezclas de hidrosiembra y desarrollo de los tratamientos en bandejas tipo B.....	97
Anexo 6. Detalles adicionales sobre el montaje y desarrollo de los experimentos.....	98
Anexo 7. Cálculo del Índice de separabilidad (Is) del sustrato utilizado.....	99
Anexo 8. Pérdidas de hidrocobertura por impacto de la gota de lluvia de alta intensidad en copas de salpicadura. Cálculo del Factor de separabilidad (Fs) de los tratamientos.....	100
Anexo 9. Análisis estadístico de la variable Fs de los tratamientos.....	101
Anexo 10. Porcentajes de cobertura inicial de las mezclas medido en las bandejas tipo A. Mediciones con Grilla y programa CobCal.....	102
Anexo 11. Análisis estadístico de la variable Cobertura de las mezclas. Mediciones con Grilla y CobCal.....	103
Anexo 12. Nº de plántulas germinadas en cada bandeja tipo A lo largo del ensayo.....	104
Anexo 13. Análisis estadístico de las variables % de germinación y sobrevivencia de plántulas.....	105
Anexo 14. Cobertura vegetal (%) en bandejas tipo A durante el ensayo.....	109
Anexo 15. Análisis estadístico de la variable cobertura vegetal (%) durante el ensayo.....	110
Anexo 16. Altura promedio de cinco plántulas por bandeja Tipo A durante el ensayo.....	113
Anexo 17. Análisis estadístico de la variable Altura (Ap) en todos tratamientos a lo largo del ensayo.....	114
Anexo 18. Promedio de nº de hojas de 5 plántulas por bandeja tipo A durante el ensayo.....	117
Anexo 19. Prueba estadística No-Paramétrica de la variable Nº de hojas por plántula a lo largo del ensayo, con un nivel de significancia del 0,05.....	118
Anexo 20. Materia fresca y materia seca producida en las bandejas tipo A al final del ensayo. Cálculo de Biomasa aérea.....	119

Anexo 21. Análisis estadístico de materia fresca y seca producida por los tratamientos al final del ensayo	120
Anexo 22. Pérdidas en masa y en superficie de las mezclas.....	121
Anexo 23. Análisis estadístico de la las pérdidas en peso y cobertura en las bandejas tipo B, en cada tratamiento.	122

ANEXOS EXTERNOS (FORMATO DIGITAL):

Anexo 24. Fotos de cobertura inicial de mezclas en bandejas tipo A.

Anexo 25. Análisis con CobCal de la cobertura inicial en bandejas tipo A.

Anexo 26. Fotos de cobertura vegetal en bandejas tipo A.

Anexo 26.1 Fotos de cobertura vegetal en bandejas tipo A a los 8 días

Anexo 26.2 Fotos de cobertura vegetal en bandejas tipo A a los 11 días

Anexo 26.3 Fotos de cobertura vegetal en bandejas tipo A a los 16 días

Anexo 26.4 Fotos de cobertura vegetal en bandejas tipo A a los 24 días

Anexo 26.5 Fotos de cobertura vegetal en bandejas tipo A a los 31 días

Anexo 26.6 Fotos de cobertura vegetal en bandejas tipo A a los 40 días

Anexo 26.7 Fotos de cobertura vegetal en bandejas tipo A a los 50 días

Anexo 26.8 Fotos de cobertura vegetal en bandejas tipo A a los 56 días

Anexo 27. Análisis con CobCal de la cobertura vegetal en bandejas tipo A.

Anexo 28. Fotos de degradación de mezclas en bandejas tipo B.

Anexo 28.1 Fotos de cobertura inicial de mezclas en bandejas tipo B.

Anexo 28.2 Fotos de cobertura final de mezclas en bandejas tipo B.

Anexo 29. Análisis con CobCal de la cobertura de las mezclas en bandejas tipo B.

Nota: El CD donde se incluyen los anexos externos en formato digital también contiene copia del documento escrito y la presentación en diapositivas (formato pptx). En caso de no contar con el CD puede solicitar una copia a través del correo electrónico arturogarciaucv@gmail.com

Introducción

El suelo es un recurso de singular importancia para el hombre dada la relación de dependencia establecida entre ambos; en él encuentran soporte un gran número de actividades productivas de los sectores de alimentos, industria y vivienda, todas estas fundamentales para el desarrollo humano. Asimismo, como componente de los ecosistemas, cumple funciones determinantes para la regulación de los ciclos biogeoquímicos y el soporte de la biodiversidad.

La creación de infraestructuras genera un amplio número de impactos sobre los ecosistemas por los que transcurren. Valladares *et al.* (2011) mencionan que la ocupación del suelo, los movimientos y compactación de tierras y la generación de préstamos y vertederos conllevan a la pérdida de la cubierta vegetal y de suelo original afectando directamente sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

Cuando desaparece la cubierta vegetal por causa de los movimientos de tierras, la capa de suelo fértil se queda sin el efecto protector que le proporcionaban las raíces y el dosel vegetal. En los eventos de lluvia que tengan lugar a continuación, el agua de escorrentía arrastrará la capa superior más fértil y que contiene propágulos y semillas, formándose surcos y regueros de difícil colonización por las plantas. El sustrato que queda después de que se produzcan fenómenos erosivos importantes es muy pobre y muchas veces demasiado duro para que las semillas puedan enraizar (Ceijas, 2008). Este efecto se produce especialmente en zonas de elevada pendiente, como en los desmontes y terraplenes. La pérdida de suelo y vegetación, a su vez, ejerce una influencia directa e indirecta sobre otros organismos, dando lugar a ecosistemas simplificados y poco resistentes, es decir, con baja capacidad de recuperación después de ser perturbados. Este círculo vicioso requiere intervención o, de lo contrario, se pone en peligro la propia estabilidad de las infraestructuras ubicadas en estas zonas. (Valladares *et al.*, 2011).

Como regla general, las regiones con suelos de poca estructura, pendiente alta, clima seco y fuertes vientos pero con lluvias intensas ocasionales, sufren las mayores pérdidas por erosión. Las actividades humanas frecuentemente intensifican o aceleran las tasas de erosión, especialmente por la deforestación o la remoción de la capa vegetal, así como por la concentración de la escorrentía en forma artificial (Suárez, 2001). El proceso de erosión hídrica se inicia por el desprendimiento de las partículas de suelo, debido al impacto de las gotas de lluvia y al mismo tiempo ocurre el proceso de flujo superficial o escorrentía, la cual hace que las partículas removidas sean incorporadas a la corriente y transportadas talud abajo. Adicionalmente, las corrientes generan procesos de desprendimiento de partículas por acción de la fuerza del agua en movimiento. Estos procesos son muy complejos y es común que varios procesos actúen conjuntamente.

El uso de coberturas vegetales es una práctica de conservación muy eficiente para el control de erosión en áreas intervenidas, ya que cumple con dos objetivos principales que son: restaurar la fertilidad del suelo a través de las propiedades físicas, químicas y biológicas de la vegetación utilizada; y controlar la erosión a través de la intercepción de la lluvia y disminución de la escorrentía (Rodríguez, 2010).

Una técnica relativamente moderna para el establecimiento de coberturas vegetales es la hidrosiembra, que consiste en la aplicación de una mezcla tipo lodo, conformada por semilla, agua, fertilizante, bio-estimulantes, aglutinante, colorante y fibras, colocándola directamente sobre el suelo por medio de un equipo mecánico (hidrosebradora). De esta manera se siembra, abona y se cubre el suelo, manteniendo la semilla con mejores condiciones de humedad y propiciando de esta manera su rápida germinación. Es una herramienta muy eficaz utilizada en muchos países para prevenir y controlar la erosión y la sedimentación en terraplenes o taludes, cortes de caminos, basureros, botaderos de material de desperdicio y otras intervenciones que se generan producto de la construcción y desarrollo de diferentes obras civiles o en procesos extractivos (minería, petróleo). El hidromulch, hidromanto o hidrocobertura, es una técnica muy semejante a la hidrosiembra, principalmente en su forma de

aplicación, pero difiere de esta en que no siempre se requiere la adición de semillas en la mezcla según los objetivos que se persigan y el contenido de fibras es superior comparado con la hidrosiembra (Caltrans, 2003). Su función principal es formar una película tipo manto que al secarse evita el lavado del suelo y los componentes del lodo aplicado (Rodríguez, 2010).

La tendencia en Latinoamérica se basa principalmente en imitar la tecnología ofrecida por los Estados Unidos o la proveniente de Europa, lo cual tiene sus ventajas debido a la existencia de materiales específicos de gran utilidad e innovación, publicaciones científicas, sistemas de diseño e incluso programas de Software para el manejo de la degradación de los suelos; sin embargo, el control de la erosión depende en gran parte de las condiciones geológicas, climáticas, topográficas y ambientales del sitio en general, y las prácticas que funcionaron con éxito para resolver un problema en ciertas condiciones no necesariamente funcionan en otras (Suárez, 2001).

En Venezuela, al igual que en otros países de la región se han desarrollado algunas tecnologías autóctonas, pero con muy poco análisis experimental y con una gran cantidad de experiencias comerciales en campo; algunas de ellas han tenido éxitos sorprendentes (Flores *et al.*, 2008). Sin embargo, existen muy pocas guías publicadas que muestren la efectividad y limitaciones de estos sistemas de conservación y restauración de suelos.

Por otro lado, son muy escasas las empresas en el país que ofrecen los suministros necesarios para esta tecnología, ya que los costos de importación son elevados, y existen muchas trabas fiscales, afectándose de forma directa el desarrollo y la implementación de la tecnología de hidrosiembra.

Por estos motivos, con este proyecto se aspira aportar información sobre material fibroso y mezclas de los mismos que presenten características físicas y un comportamiento similar a los productos importados, que cumplan con los requerimientos de cobertura necesarios para el control de la erosión y para el establecimiento de la vegetación mediante la hidrosiembra, que sean de bajo costo y a su vez sean de fácil acceso en nuestro país.

Objetivos de la Investigación

Objetivo General

Evaluar fibras a ser usadas en mezclas con fines de hidrosiembra, en relación a su eficiencia en el control de la erosión del suelo, el establecimiento de la vegetación y su resistencia a la degradación en el tiempo mediante ensayos y pruebas de laboratorio e invernadero.

Objetivos Específicos

1. Caracterizar las fibras seleccionadas a ser usadas en mezclas con fines de hidrosiembra.
2. Evaluar el efecto de las mezclas utilizadas con fines de hidrosiembra en el control de la erosión, en relación con la cobertura ofrecida y la protección ante el impacto de la gota.
3. Evaluar el efecto de las mezclas utilizadas con fines de hidrosiembra en el establecimiento de una vegetación, en base a la germinación alcanzada, la cobertura vegetal ofrecida y la biomasa obtenida.
4. Evaluar la longevidad funcional de las mezclas utilizadas con fines de hidrosiembra en función del tiempo.

La degradación de los suelos

En el campo de la conservación del suelo los términos degradación de la tierra y erosión del suelo son algunas veces utilizados de manera intercambiable y considerados con frecuencia sinónimos. El uso de dichos términos de tal manera, resulta inadecuado ya que la erosión es sólo una forma de degradación del suelo.

La degradación de la tierra se define como la reducción en la capacidad de ésta para producir beneficios considerando un uso particular y bajo una específica forma de manejo (Lal *et al.*, 1989). Esta definición incluye no solo los factores biofísicos de la capacidad de uso de la tierra, sino también consideraciones socioeconómicas.

A su vez, la erosión puede definirse como un proceso en el que ocurre la separación de los materiales del suelo, de sedimentos o de mantos alterados y su movilización hasta un punto donde se reubican o depositan por la acción de un fluido en movimiento que puede ser el agua o el viento (Rodríguez, 2010; Suárez, 2001).

Existen una gran cantidad de agentes causales que dan origen a los problemas erosivos. Un ejemplo de procesos erosivos de alta afectación tiene que ver con la creación de infraestructuras y desarrollos de minas a cielo abierto, que generan un amplio número de impactos sobre los ecosistemas que atraviesan (Martínez y Fernández, 2001). La ocupación del suelo, los movimientos y compactación de tierras y la generación de desmontes y terraplenes ocasionan un impacto directo en la pérdida de la cubierta vegetal y del suelo original así como de todas sus propiedades biológicas. A estos se suman consecuencias de tipos estéticas y paisajísticas, además de aquellas que afectan a la provisión de bienes y servicios ecosistémicos, así como la afectación de cuencas hidrográficas. Adicionalmente, se produce una afectación importante sobre las propias estructuras, al remover la vegetación y dejando al descubierto el

suelo aledaño a las mismas, lo cual pone en situación de riesgo cualquier desarrollo constructivo (Valladares *et al.*, 2011). Sin embargo, los impactos son difíciles de valorar y muchos están apenas comenzando a conocerse.

De igual manera, estos procesos degradativos se presentan en ambientes forestales ubicados en zonas adyacentes a urbanismos, cuando estos son alterados por acción del fuego. En Estados Unidos existen varias experiencias en el uso de hidrocoberturas con la finalidad de regenerar la vegetación en zonas boscosas quemadas para proteger las cuencas hidrográficas. (Debats *et al.*, 2007; Kwok *et al.*, 2007). Estos estudios han concluido que el hidromulch mitiga la erosión hídrica de manera más eficaz en longitudes de pendientes cortas, donde el flujo concentrado y la erosión en surcos no son tan probables como en las pendientes más largas. Un estudio sobre el uso del hidromulch en zonas quemadas en California, demostró que éste fue eficaz en la reducción de la erosión inmediatamente después del incendio, al favorecer la retención de agua en el suelo (Hubbert *et al.*, 2012); sin embargo, sus beneficios parecen estar limitados a los primeros 2-4 meses siguientes al fuego, debido a la rápida descomposición de la cobertura durante los primeros 6 meses.

Prácticas para el control de la erosión de los suelos

Rodríguez (2010) define las prácticas de conservación de suelos y agua como el conjunto de tecnologías utilizadas para contrarrestar el efecto negativo de la degradación de tierras. Menciona como objetivos de la conservación en relación con el control de la erosión de los suelos los siguientes:

- Condicionar el suelo para hacerlo más resistente a la separación y transporte y disminuir los riesgos de escurrimiento superficial.
- Proteger la superficie del suelo de las lluvias y el viento mediante coberturas.
- Disminuir las velocidades del escurrimiento y de los vientos sobre la superficie de los suelos.
- Proveer de vías protegidas para eliminar el escurrimiento superficial inevitable.
- Mantener las pérdidas de suelo en límites tolerables.

En las áreas de la Ingeniería, las afectaciones al suelo son muy diversas y el impacto ambiental generado es ecológicamente insostenible por lo que en los últimos años se ha intentado fusionar conceptos de protección de estructura con restauración ecológica y paisajística. Actualmente han proliferado diversos términos para describir el tratamiento de los espacios afectados por la construcción y manipulación antrópica de los suelos. Entre ellos tenemos la bioingeniería, ingeniería biológica, ingeniería del paisaje y ecotecnología.

Valladares *et al.* (2011) definen la Ecotecnología como la aplicación de principios pertenecientes a la ingeniería (diseño, monitorización y construcción) para desarrollar nuevas técnicas, usando normalmente como base material vegetal, que permitan acelerar la restauración ecológica y paisajística de áreas gravemente degradadas. La vegetación es uno de los mejores materiales naturales para el control de erosión; sin embargo, los geosintéticos fabricados y comercializados han variado significativamente el concepto de control de erosión en la última década (Díaz, 2011). Es por ello que problemas como la retención de humedad, la protección del suelo y la revegetación puede ser resuelto con muchos materiales, tanto orgánicos como sintéticos, con propiedades específicas que deben tenerse en cuenta para lograr un rendimiento adecuado.

Las medidas ecotecnológicas empleadas en el control de la erosión en obras de infraestructura presentan cinco objetivos fundamentales, a saber: a) restituir la capacidad de los taludes para retener el agua y el suelo; b) integrarlos visualmente; c) facilitar la colonización y establecimiento de la vegetación, d) reducir los costes de mantenimiento; y e) aumentar la seguridad vial (Suárez, 2001; Valladares *et al.*, 2011).

Existen múltiples clasificaciones para las técnicas existentes en la actualidad en el manejo de la erosión en las áreas intervenidas. Rodríguez (2010), clasifica las prácticas de conservación de suelos y agua según su naturaleza en las siguientes categorías:

- a) *Culturales*: se asocian con aquellas actividades comunes de una buena agricultura dirigidas a mantener y mejorar la productividad de los cultivos y de las plantas en general.

- b) *Agronómicas o biológicas*: Son prácticas que requieren conocimientos técnicos agronómicos específicos para su aplicación. Se basan en la utilización de plantas vivas y sus residuos para mitigar o controlar los procesos de degradación.
- c) *Mecánicas o estructurales*: tiene como función recoger y almacenar, distribuir y controlar, y evacuar o disponer de las aguas de escorrentía provenientes de la lluvia y/o del riego, de forma segura y eficiente.
- d) *Prácticas especiales de conservación*: Se refieren al conjunto de tecnologías y medidas a controlar o mitigar procesos de degradación no convencional o menos frecuentes en parcelas donde se llevan a cabo actividades agrícolas, o en aquellos casos donde estos procesos están asociados con actividades no agrícolas, como la estabilización de infraestructuras, la minería, las actividades petroleras, los corredores de servicio, así como la recuperación y restauración de áreas afectadas por dichas actividades. En este grupo se encuentra la hidrosiembra.

En el Cuadro 1 se detallan algunos ejemplos de prácticas de conservación agrupadas según su naturaleza. La hidrosiembra es una práctica ubicada dentro de la categoría de casos especiales de conservación, debido a su uso principalmente en actividades no agrícolas.

Cuadro 1. Ejemplos de prácticas de conservación agrupadas según su naturaleza.

Culturales	Agronómicas/Biológicas	Mecánicas/ingenieriles	Casos especiales
<ul style="list-style-type: none"> • Fertilización y enmiendas químicas y orgánicas • El riego conservacionista • Agricultura de precisión • Los sistemas de siembra conservacionista • Los acondicionadores de suelo • La labranza conservacionista • Despedramiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Las coberturas sobre el suelo • Los abonos verdes • Los sistemas de cultivo conservacionistas • Asociados • Agroforestería • Rotaciones • Los cultivos en franjas • Los rollos de vegetación • Las barreras vivas 	<ul style="list-style-type: none"> • Canales de desviación y acequias de ladera • Bermas • Zanjas de absorción • Terrazas • Sistemas de torobas y trincheras • Diques o presas de retardación y sedimentación 	<ul style="list-style-type: none"> • Control de cárcavas • Estabilización de taludes • Control de erosión y sedimentación en áreas de construcción, minería y otros • Control de erosión de banco de río • Restauración de la vegetación en áreas intervenidas • hidrosiembra • Hidromulch o hidromanto

Fuente: Rodríguez, 2010.

Por su parte, el Departamento de Transporte del Estado de California, en Estados Unidos, ha establecido una clasificación de las técnicas existentes para el control de la erosión de los suelos, denominada Guía para la Estabilización Temporal de los Suelos (Caltrans, 2003; Lauro y Theisen, 2007). Esta clasificación es utilizada por institutos de investigación y empresas a nivel internacional encargadas de elaborar y aplicar productos de conservación de suelos. En ella se agrupan estas técnicas en seis categorías principales:

1. **Mulch o acolchado de Madera:** consiste en la aplicación de corteza, madera triturada, y/o compost (material verde reciclado) directamente sobre el suelo desnudo. El acolchado de madera proporciona la estabilización del suelo, reduciendo temporalmente el potencial de erosión del suelo subyacente debido al impacto de la lluvia y el viento, aumenta la infiltración y reduce la velocidad de la escorrentía, modera la temperatura del suelo, aísla las raíces de las plantas contra las temperaturas extremas, retiene la humedad y reduce la necesidad de riego. También reduce la germinación de hierbas nocivas, disminuyendo de este modo la necesidad de medidas de control de la vegetación.
2. **Mulch o acolchado de Paja:** consiste en la aplicación de una capa uniforme de paja o heno en un área de suelo alterado para estabilizar temporalmente el suelo y reducir la erosión causada por el viento y el agua. El acolchado de paja se aplica a mano o por medios mecánicos (soplador de paja).
3. **“Binders” o aglutinantes del suelo:** son emulsiones estabilizantes de naturaleza orgánica o sintética, que se aplican directamente sobre áreas de suelo perturbadas, o en combinación con otras técnicas como el hidromulch o la hidrosiembra, con la finalidad de reducir temporalmente la erosión causada por el agua y el viento al penetrar la capa superior del suelo y aglutinar las partículas del mismo. Dependiendo de la elección, los aglutinantes del suelo pueden ser eficaces por períodos de 3 meses a 2 años.
4. **Productos enrollados para el control de la erosión (Rolled Erosion Control Blankets, RECBs):** son productos prefabricados diseñados para proteger las zonas de suelo alteradas por la erosión hídrica y eólica. Se pueden utilizar de forma individual o en combinación con “topsoiling” (capa de sustrato de 5 a 10 cm añadida sobre el suelo), enmiendas del suelo y/o

el crecimiento vegetativo para formar una superficie de alta resistencia que ayude a proteger las zonas de suelo alterado de las fuerzas erosivas del agua, el viento y/o las fuerzas de flujo. Entre ellos tenemos:

- a. **Geotextiles:** Es una tela de polipropileno no biodegradable. Se utilizan en áreas de suelos perturbados donde se necesitan materiales de alta resistencia para soportar las fuerzas abrasivas a través de la vida de un proyecto, para el control de drenaje y la estabilización de taludes.
 - b. **Cubiertas de plástico:** las fundas de plástico son impermeables, no biodegradable, utilizadas para el control de drenaje y estabilización de taludes. También se utilizan en las reservas de suelo y/o abono, y en áreas muy pequeñas de suelo alterado que requieren atención inmediata por un período corto de tiempo.
 - c. **Mallas:** Las redes de plástico o mallas pueden estar compuestas por materiales geosintéticos fotodegradables tales como polipropileno, polietileno, nylon, y/o cloruro de polivinilo (PVC), o biodegradables si se componen de fibras naturales. Las mallas se utilizan para asegurar acolchados sueltos, tales como la paja en el suelo.
 - d. **Mantos para el Control de Erosión:** los mantos para el control de erosión pueden ser biodegradables y/o foto-biodegradables. Estos mantos se componen típicamente de fibras naturales como el yute, paja, coco, o en una combinación de éstas con polipropileno fotodegradable o una red de polietileno. La red, la costura, y/o adhesivos que unen un manto de control de erosión deben ser 100% biodegradables.
 - e. **Mantos de Refuerzo de la Vegetación (Turf Reinforcement Mats, TRM):** las alfombras o mantos de vegetación reforzada, están compuestas de capas entrelazadas de materiales biodegradables o no biodegradables (polipropileno, nylon, PCV) que se cosen juntos para formar una matriz tridimensional que es lo suficientemente gruesa y porosa para incorporar suelo. Los TRM están diseñados para ser una de las formas más permanentes en la estabilización del suelo; también son adecuados para la estabilización temporal de zonas extremadamente difíciles y situaciones de flujo concentrado de alta velocidad.
5. **Coberturas Hidráulicas:** son mezclas de acolchado de madera, agua, con o sin combinaciones de emulsiones estabilizadoras, papel reciclado, y/o, fibras sintéticas. Esta

suspensión se aplica a las zonas de suelo alterado utilizando un equipo de hidrosiembra para estabilizar temporalmente el suelo y reducir la erosión causada por el viento y el agua. Hay cuatro tipos de coberturas hidráulicas. En la Figura 1 se esquematiza el uso de estas técnicas hidráulicas para el control de la erosión, según el nivel de la pendiente y el esfuerzo de cizallamiento de la matriz hidráulica aplicada.

- a. **Hidromanto (Hydraulic Mulch, HMs):** el mulch hidráulico o hidromanto se compone de fibras de madera trituradas, mezcladas con agua y/o una emulsión estabilizadora, en una mezcladora hidráulica y se pulveriza sobre el área de tierra removida en forma de suspensión líquida.
 - b. **Matriz hidráulica estabilizadora (Stabilized Fiber Matrix, SFMs):** Una matriz estabilizadora consta de una emulsión estabilizadora combinada con fibra de madera, fibra de papel, y agua. Se puede aplicar ya sea con múltiples capas, con una de fibra de madera como base y otra de fibra de papel en la parte superior, o también como una mezcla de las fibras de madera y de papel en una sola. Es usado en zonas con pendientes 2H:1V, con una duración entre 3 y 6 meses.
 - c. **Matriz de fibras aglomeradas (Bonded Fiber Matrix, BFM):** Una matriz de fibra aglomerada está compuesta por hebras de fibras de madera largas y continuas combinadas con una emulsión estabilizadora y agua. Es 100% biodegradable con una longevidad entre 6 a 12 meses, en pendientes 1H:1V.
 - d. **Matriz de fibras aglomeradas mecánicamente (Flexible Growth Medium, FGMs):** está compuesta de fibras de madera térmicamente tratadas, emulsión estabilizadora y de fibras sintéticas prensadas. Las fibras artificiales se prensan para bloquear y dar refuerzo mecánico de la matriz. Las FGMs son la tecnología aplicada hidráulicamente de mayor rendimiento y proporciona una efectividad mayor al 99% en el control de la erosión. Tienen una longevidad mayor a 12 meses sobre la superficie del suelo.
6. **La Hidrosiembra:** es el proceso de cubrir de vegetación áreas intervenidas mediante la aplicación de una mezcla de emulsión estabilizadora, bioestimulantes, fertilizantes, colorantes y fibras e incluye semillas usando un equipo de hidrosiembra. Referenciándose en la Figura 1, la hidrosiembra puede ser utilizada en situaciones donde estén presentes

pendientes bajas y medias. Para pendientes más pronunciadas, es necesaria la aplicación de técnicas de vegetación reforzada y en casos de pendientes extremas, uso de concreto armado y de obras de ingeniería específicas. A continuación se describe esta técnica de conservación de suelos y restauración ecológica.

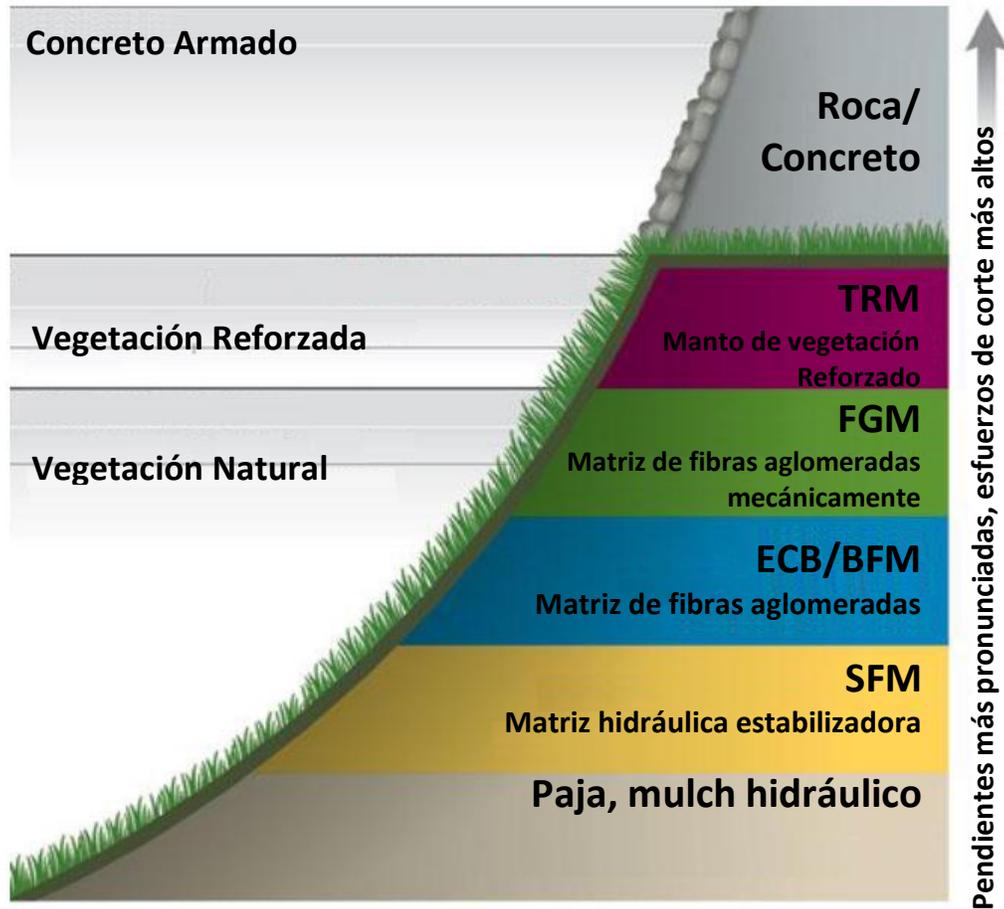


Figura 1. Uso de las técnicas de protección contra la erosión en ambientes intervenidos, según la pendiente de la ladera, basados en sistema de clasificación de materiales para control de erosión aplicados hidráulicamente (Adaptado de Lauro y Theisen, 2007).

La Hidrosiembra: Técnica de restauración ecológica

Parrotta *et al.* (1997) define dos objetivos importantes que se persiguen con la aplicación de las técnicas de restauración ecológica:

- a) Orientar el dinamismo espontáneo del sistema ecológico hacia un determinado mosaico de comunidades de organismos. Dependiendo del tipo de restauración que se desee realizar se puede aplicar diferentes tipos de cobertura vegetal.
- b) Acelerar el proceso que espontáneamente habría tardado en suceder un tiempo más dilatado o no habría ocurrido por sí mismo.

Se ha demostrado que ciertos problemas físicos, químicos o biológicos del suelo se pueden atenuar durante la restauración aplicando mulches (capas de materiales, orgánicos o no, que se aplican sobre el suelo para protegerlo de la erosión, amortiguar las condiciones microclimáticas o disminuir la pérdida de agua por evaporación), fertilizantes o enmiendas orgánicas, las cuales mejoran en todos los sentidos las propiedades del suelo (Tormo *et al.*, 2009).

La hidrosiembra no sólo es una técnica para el control de la erosión del suelo, sino también una técnica de restauración ecológica. Con ella se pretende un rápido desarrollo de especies vegetales, en particular gramíneas (poáceas) y leguminosas (fabáceas), limitando el problema de la erosión desde los primeros estadios de la sucesión, y facilitando el crecimiento posterior de las especies autóctonas, gracias a los aportes de materia orgánica y al enriquecimiento en nitrógeno de los suelos (Martínez y Fernández, 2001; Parrotta *et al.*, 1997). Para evaluar la eficiencia de la aplicación de esta técnica, se utiliza tradicionalmente la cobertura, y se considera un éxito cuando ésta supera el 90% (Mola *et al.*, 2006). La hidrosiembra permite la emergencia de un mayor número de plántulas (aproximadamente un 20% más) que la geomalla, debido a la obstrucción parcial que ejerce ésta sobre la salida de las plántulas (Monroy *et al.*, 2008).

Por medio de la hidrosiembra se ha observado una gran reducción en la producción de escorrentía y sedimentos en las parcelas tratadas durante las primeras etapas después de

aplicarla. Este resultado puede atribuirse al efecto combinado de: (a) la protección contra el impacto de la lluvia debido a la aplicación de la paja y el mulch de la superficie del suelo, y (b) a una mejora general de la estructura del suelo traído por las modificaciones orgánicas (Albaladejo *et al.*, 2000). La hidrosiembra también incrementó la diversidad ecológica, tanto por el incremento de riqueza como de equitabilidad (distribución del número de individuos entre el número de especies), pero esto no se debía a la introducción de especies nuevas, sino a la mejora de las condiciones edáficas (Martínez y Fernández, 2001). La aplicación conjunta de hidrosiembra y enmiendas orgánicas demostró ser muy eficaz en la reducción de la escorrentía y la erosión en pendientes pronunciadas artificiales en condiciones secas (Albaladejo *et al.*, 2000).

A nivel comercial existen variados productos que pueden ser utilizados como fibra en la hidrosiembra (BonTerra Ibérica S.L., 2013; EcoAegis, 2013; Profile, 2013). Sin embargo sus características físicas y químicas generalmente no se adaptan a las condiciones tropicales, y el costo de importación resulta muy alto.

En Venezuela para el establecimiento de cobertura vegetal en terrenos inclinados, tradicionalmente se emplea el método de las fajinas, que involucra, en algunos casos, el uso de episuelo o tierra negra (Centeno, 2002). Por su parte, el uso de arcillas, asfalto líquido RC-250 y residuos vegetales también ha dado buenos resultados. Fue a partir de 1993 la empresa EDELCA, empezó ensayos con la hidrosiembra para estabilizar zonas difíciles. La hidrosiembra modificada y adaptada a las condiciones edafo-climáticas de Gurí resultó en la alternativa más económica y factible para dotar de cobertura a terrenos con niveles de inclinación entre 45° y 70° y altura superior a 15 metros (Flores *et al.*, 2008). No obstante, no existen mayores trabajos de investigación de laboratorio ni de campo sobre esta técnica de restauración ecológica en el país, solo experiencias técnicas llevadas a cabo por empresas del sector de la construcción principalmente en estructuras de ingeniería, utilizando exclusivamente productos importados para tal fin.

Fibras vegetales con fines de hidrosiembra

Uno de los componentes fundamentales de la hidrosiembra lo constituyen las fibras, las cuales conforman una red o entramado físico que cumple la función principal de disminuir la energía cinética originada por el impacto de la lluvia, así como favorecer la retención de humedad disponible para el sustrato subyacente. Las fibras naturales pueden ser clasificadas en origen animal o vegetal.

Las fibras naturales de origen vegetal están constituidas a nivel químico principalmente por: la celulosa, las hemicelulosas y la lignina, que en conjunto conforman la pared celular.

La celulosa es un homopolisacárido y la materia orgánica más abundante en el mundo. Consiste en cadenas largas y lineales de celobiosa (D-glucopiranosil- β -1,4-D-glucopiranososa). Las propiedades más importantes de la celulosa se relacionan, en primer lugar, con la susceptibilidad de la molécula a la hidrólisis y, en segundo lugar, con su capacidad de absorber agua (Wiegand, 1999) La superficie de las microfibrillas de celulosa es altamente polar debido a los grupos hidroxílicos que se asocian entre sí por puentes de hidrógeno. (Prinsen, 2010)

La lignina es la segunda materia biológica más abundante en el mundo. Es un polímero conformado por unidades de fenilpropano. Esta sustancia evita el ingreso de enzimas destructivas por la pared celular. La lignina es considerada como una de las moléculas responsables de otorgar mayor dureza a las maderas, y es utilizada como un indicador de la capacidad de descomposición que poseen los materiales forestales por ser resistente a la degradación bacteriana (Wiegand, 1999). Desempeña funciones en el transporte de agua, nutrientes y metabolitos en el sistema vascular facilitado por sus propiedades como estructura macromolecular. Su hidrofobicidad, junto al nivel de entrecruzamiento con los polisacáridos, es importante para la permeabilidad de los poros entre las células vegetales (Prinsen, 2010).

Por su parte, las hemicelulosas son más difíciles de clasificar, es decir, son polisacáridos con grupos heterogéneos y a diferencia de las celulosas, son de cadena corta. Son insolubles en agua, pero en medio alcalino se disuelven. Las plantas herbáceas suelen contener más

hemicelulosas y menos ramificados (celulosa). Las pajas de cereales (trigo, arroz, centeno, cebada, etc.) suelen contener entre 30 y 40 % de hemicelulosas con algunas excepciones. La función principal es su interacción con la celulosa y lignina para proporcionar rigidez a la pared celular. Las cadenas de hemicelulosas se asocian con las microfibrillas de celulosa tras su carácter polar (puentes de hidrógeno) (Prinsen, 2010).

Se han realizado ensayos de hidrosiembra utilizando varias fibras naturales con un comportamiento similar a los productos comerciales, obteniéndose buenos resultados con el lino y la caña de azúcar en dosis de aplicación de 5 t/ha (Landloch PTY LTD, 2002); con algodón y otros residuos de cosecha los resultados han sido interesantes (Scholl *et al.*, 2012). Para facilitar la aplicación, se recomienda que los productos hidráulicos para el control de la erosión contengan fibras cortas y estén compuestas por madera, coco, papel de periódico reciclado, paja y otras fibras naturales y artificiales. Estas fibras permiten que los hidromantos se adhieran fácilmente a las pendientes empinadas, debido a su capacidad para absorber agua durante las aplicaciones (Lancaster y Theisen, 2004).

Evaluación de mezclas de hidrosiembra

El Consejo Tecnológico para el Control de la Erosión de EE.UU. (ECTC, 2012; Lauro y Theisen, 2007) ha establecido cuatro criterios para evaluar productos aplicados hidráulicamente para el control de erosión (HECPs) que son: el porcentaje de eficiencia en el control de la erosión, el establecimiento de la vegetación, la longevidad funcional de la mezcla y el esfuerzo de corte.

- *El Porcentaje de eficacia (PE)* es una medida de la capacidad de una matriz aplicada hidráulicamente para proteger el suelo de la erosión causada por el impacto de la lluvia y el flujo de lámina resultante. El porcentaje de eficacia está directamente relacionado con el Factor C de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos Revisada (RUSLE) y se puede calcular mediante la siguiente relación: $PE = (1 - C) \times 100 \%$. El factor C se evalúa habitualmente mediante el método de prueba ECTC #2, ASTM D6459 o de pruebas a gran escala utilizando simuladores de lluvia en las universidades y laboratorios (ECTC, 2003). Esta propiedad puede ser muy variable y depende de la duración del evento de

lluvia y la intensidad, el tipo de suelo, inclinación de la pendiente, longitud de la pendiente y la tasa de la matriz de aplicación hidráulica.

- *El Establecimiento Vegetativo* es una medida de la capacidad que tiene un material para promover o fomentar la germinación de semillas y crecimiento de las plantas, e indirectamente es un factor determinante en el control de la erosión ejercido por la vegetación. Puede ser evaluada usando el método de prueba ECTC # 4 (ECTC, 2004). Cuanto mayor sea el valor de establecimiento vegetativo, más rápido se puede lograr el nivel deseado de la vegetación.
- *La longevidad funcional* es una medida de cuánto tiempo la matriz aplicada hidráulicamente permanece protegiendo, de forma adecuada, la semilla y el suelo de la erosión provocada por la salpicadura de la gota y el flujo de la lámina de escorrentía. Es un parámetro muy importante en zonas donde existan condiciones climáticas extremas, donde la vegetación se desarrolla más lentamente. Guerrero *et al.* (2007) indican que la degradabilidad de un hidromanto está relacionada con su contenido de ligninas, compuestos fenólicos y la relación C:N. de esta manera se obtiene un hidromanto muy recalcitrante (que se degrada poco) si sus contenidos de lignina y compuestos polifenólicos son altos, y su relación C/N es alta. Para su estimación, el criterio de longevidad funcional de la mezcla puede ser correlacionado con el porcentaje de eficacia, pero el mejor método de determinación es el uso de la experiencia de campo y el juicio por un profesional calificado.
- *Tensión o esfuerzo de corte*: Los materiales aplicados hidráulicamente se utilizan normalmente en las zonas que sólo reciben impacto de la lluvia y el flujo laminar. Ciertos eventos inesperados de lluvia en las laderas desprotegidas pueden causar surcos y desarrollar posteriormente cárcavas. En laderas construidas con pendientes pronunciadas mayores 2H:1V, puede ser difícil, si no imposible, acceder con equipos pesados. Dentro de los surcos y cárcavas pre-existentes existen áreas de flujo potencialmente concentrado y por lo tanto las áreas donde los esfuerzos cortantes se pueden desarrollar. En estas condiciones, la tensión de cizallamiento de la matriz

hidráulica es una propiedad importante y puede ser evaluada utilizando el método de prueba ECTC # 3 (ECTC, 2004).

Sin embargo, en Venezuela no se han desarrollado metodologías precisas que permitan evaluar los distintos componentes que se utilizan en la mezcla de hidrosiembra. Gran parte de la información que existe tiene que ver con trabajos de campo aislados, pero con un enfoque técnico y comercial, más que de investigación. Por lo que con este trabajo de investigación se busca seleccionar y evaluar el comportamiento de fibras accesibles y de bajo costo en nuestro país, que sean eficientes en la formación de una cobertura protectora de los factores erosivos del suelo y a su vez favorezcan la germinación y el rápido establecimiento de una vegetación protectora sobre el mismo, utilizando como técnica la hidrosiembra.

Ubicación de los ensayos

Las fases experimentales de esta investigación se llevaron a cabo dentro de las instalaciones de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela: en el invernadero del Departamento de Agronomía, en el Laboratorio de la Cátedra de Conservación de Suelos y Agua del Departamento de Agronomía y en el Invernadero y Laboratorio de Física de Suelos del Instituto de Edafología.

Descripción de los materiales seleccionados

Para la preparación de las mezclas de hidrosiembra se utilizaron varios componentes fundamentales, como: el sustrato o suelo, fibras, semillas, aglutinantes, retenedores de humedad y fertilizantes. A continuación se detalla el origen y descripción de materiales seleccionados en este trabajo de investigación.

a. El sustrato

El sustrato utilizado provino de un corte en el piedemonte de las montañas que circundan la Facultad de Agronomía, dentro del área de Porcinos, y que corresponde a un horizonte C. El mismo está conformado por esquistos calcáreos meteorizados de la formación Las Mercedes.

El suelo fue cernido por tamiz de 4 mm y almacenado en bolsas plásticas hasta su uso en los distintos experimentos. El contenido que no paso por el tamiz fue pesado, para estimar el porcentaje de fracción gruesa del sustrato. La fracción tamizada fue enviada al laboratorio del INIA (UNILAB) para su análisis físico químico. En el Cuadro 2 se describen las características principales del suelo utilizado.

Cuadro 2. Análisis físico-químico realizado al sustrato.

Fracción gruesa (%)	Fracción Fina			Fósforo (mg/kg)	Potasio (mg/kg)	Calcio (mg/kg)	Magnesio (mg/kg)	Materia Orgánica (mg/Kg)	pH	C.E. dS/m
	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)							
51	40	20	40	15	66	>2000	54	2,68	8,3	0,11

Como se observa en el Cuadro 2, el sustrato utilizado presenta un alto porcentaje de arenas y limo (80%), con poco desarrollo estructural, por lo que se supone un material potencialmente susceptible a procesos erosivos. También lo caracterizan un pH alcalino que coincide con un alto contenido de calcio; esto afecta movilidad de los nutrientes en el suelo y su disponibilidad para las plantas. Los valores de materia orgánica, salinidad y macroelementos, indican que el sustrato no presenta limitaciones graves de fertilidad. En su condición original el porcentaje de esqueleto grueso mayor a 4 mm fue de 51% restándole capacidad de retención de humedad a la matriz.

b. Las fibras

La selección de las fibras se rigió por criterios de ser de fácil acceso y/o disponibilidad a nivel nacional y bajo costo, procedentes de variadas fuentes de desechos agrícolas, industriales y caseros. Estas son: algodón (A), bagazo de caña (B), fibra de coco (C), aguja de pino (N), papel (P), concha de arroz (R) y vetiver (V); el producto comercial seleccionado como mulch fue el Flexterra® HP-FGM™ (F), comúnmente utilizado para la hidrosiembra. A continuación se describen las principales características de las fibras vegetales y el producto comercial utilizados en esta investigación.

b.1 Fibras de algodón (*Gossypium spp.*): Las especies del género *Gossypium*, cultivadas para producir algodón, son plantas herbáceas y arbustos de la familia Malvaceae. De los frutos dicha planta se obtiene la fibra de algodón. El color de la fibra puede ser blanco, amarillo pálido o ligeramente rojizo, con textura más o menos sedosa, fuerte en mayor o menor grado según la longitud de largo. En cuanto al grueso, varía de 6 a 29 centésimas de milímetro por fibra. Cada fibra está compuesta por 20 ó 30 capas de celulosa, enrolladas en una serie de resortes naturales. Esta celulosa es ordenada de cierta manera que le da al algodón propiedades únicas de durabilidad, resistencia y absorción.

Las fibras del algodón representan la forma natural más pura de la celulosa, conteniendo más del 90% de este glúcido. Otros autores reportan valores por el orden de Celulosa 82.7% y hemicelulosa 5.7% (Núñez, 2010). En la literatura científica existen referencias sobre el uso los residuos de la cosecha del algodón en mezclas para hidrocobertera con resultados interesantes (Caltrans, 2010; Scholl *et al.*, 2012). En estos casos se utiliza tanto la fibra del algodón, como restos de la cápsula y del tallo.

Para este ensayo, el algodón utilizado proviene de los residuos de telas lavadas y secadas en lavadoras automáticas domésticas. Es un material formado principalmente por fibras largas de algodón aunque no se descartan la presencia de otras fibras naturales y sintéticas en el mismo. Fue aplicado como componente de las mezclas A (100% algodón) y VAP (Vetiver-Algodón-Papel) en proporción 4:3:3.

b.2 Bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.): El bagazo de caña es uno de los subproductos del procesamiento de la Caña de Azúcar. Es el residuo leñoso de materia que se obtiene después de extraído su jugo, y puede alcanzar entre un 26 % a un 29 % del peso de la caña molida. El bagazo está constituido por agua, partículas sólidas y cantidades más pequeñas de sólidos solubles. Los valores más representativos son los siguientes: Humedad: 46-52 %; sólidos participados: 40-46 %; y sólidos solubles: 6-8 % (Roca *et al.*, 2006).

El bagazo de caña de azúcar no constituye un material homogéneo y su peso volumétrico o densidad aparente es muy bajo, reportándose valores entre 50 kg.m⁻³ hasta 96 kg.m⁻³ en base seca y condiciones naturales, es decir, sin ningún grado de compactación (Bracho *et al.*, 2009; Pire y Pereira, 2003; Roca *et al.*, 2006). La relación C:N del bagazo está por el orden de los 50:1 (VIFINEX, 2002), lo que representa un valor comparativamente mucho menor a otros materiales utilizados como sustratos como aserrín de madera.

En el Cuadro 3 se detalla la composición química del bagazo de caña de azúcar, en donde se observa un contenido de holocelulosa (hemicelulosas más celulosa) en mayor porcentaje que la lignina, lo que le da mejores características de descomposición que materiales como la corteza de árboles (que presentan un porcentaje mayor de lignina).

Cuadro 3. Composición química del bagazo de caña.

Compuesto	Bagazo de Caña de azúcar (% Base seca)
Holocelulosa	59-76
α -Celulosa	32-44
Lignina	19-24
Cenizas	1,5-5,0

Fuente: Hurter (2001) mencionado por Prado Martínez *et al.* (2012)

Para el ensayo realizado en este trabajo de grado, se utilizó el bagazo de caña obtenido en el Central Azucarero El Palmar en el estado Aragua. El material presentó un nivel de degradación importante ya que se encontraba almacenado durante más de un año. Fue utilizado en los tratamientos B (100% Bagazo de Caña) y BC (60% Bagazo de Caña y 40% Coco).

b.3 Flexterra®: El Mulch FGM Flexterra® es un compuesto entrelazado por fibras de madera recicladas, fibras sintéticas biodegradables y biopolímeros retenedores de humedad. Se aplica hidráulicamente sobre el terreno a proteger. El Flexterra® se fija estrechamente a la superficie del suelo para crear un manto protector, poroso y absorbente. Sus características permiten proteger al suelo descubierto hasta que la vegetación se desarrolle y genere una cobertura natural. Según la empresa matriz que elabora este producto, es ideal para el control de erosión superficial y un medio óptimo para el crecimiento de la vegetación. El Flexterra® está conformado por:

- Fibras de madera procesadas térmicamente 74.5% \pm 3.5%
- Pegamentos y activadores hidrocoloides degradados 10% \pm 1%
- Fibras entrelazadas patentadas 5% \pm 1%
- Contenido de humedad 10.5% \pm 1.5%

En el folleto diseñado por la empresa matriz (Profile Products®) se detallan algunas de las evaluaciones realizadas a este material al aplicarlo sobre una superficie. En el cuadro siguiente se resumen estas características:

Cuadro 4. Características físicas evaluadas por la empresa matriz al Flexterra®.

	MÉTODO DE PRUEBA	SIST. MÉTRICO
FÍSICO		
Masa por unidad de área	ASTM D6566	11.5 g.m ⁻²
Espesor	ASTM D6525	4.8 mm
% de terreno cubierto	ASTM D6567	99%
Capacidad de retención de agua	ASTM D7367	1500%
Rigidez ante la flexión (húmedo)	ASTM D6575	10,000 mg-cm
Tiempo de curación	Observado	< 2 horas
Color (tintura fugitiva)	Observado	Verde
RESISTENCIA		
Longevidad funcional	Observado	<=18 meses
RENDIMIENTO		
Factor de cobertura (6 pul/h evento)	ASTM D7101	0.0066
% efectividad	ASTM D7101	>= 99%
Factor de cobertura	Gran escala	<=0.01
% efectividad	Gran escala	>= 99%
Fuerza de tracción	ASTM D7207	48 Pa
Establecimiento de vegetación	ASTM D7322	800%

Fuente: Profile Products, 2008.

Entre las características mencionadas en el cuadro anterior, se pueden resaltar una alta capacidad de retención de agua (1500%, relacionando el contenido de humedad con el peso seco), y un alto porcentaje de cobertura sobre el suelo mayor al 99%.

La dosis de aplicación recomendada de este producto por la empresa matriz varía entre 3.400 a 5.100 kg.ha⁻¹, dependiendo del gradiente del talud. A mayor pendiente la dosis recomendada es mayor (Profile Products, 2008).

b.4 Cascarrilla del arroz (*Oriza sativa* L.): El arroz es una especie perteneciente a la familia de las gramíneas (Poáceas), cuya semilla es comestible y constituye la base de la dieta de casi la mitad de la población mundial. La cascarilla de arroz es un subproducto generado del proceso de molienda del grano de arroz proveniente de los campos de cultivo. Esta se encuentra en la parte exterior del grano maduro compuesta por dos glumas denominadas palea y lemma, unidas por dos estructuras que tienen forma similar a un gancho (Vargas *et al.*, 2013). Los componentes orgánicos de mayor interés de la cascarilla de arroz son la

lignina y la celulosa, que se pueden utilizar en aplicaciones como el papel y cartón, y en la conversión de biomasa con fines energéticos.

Los rangos obtenidos del análisis químico a nivel internacional corresponden a los siguientes: celulosa 25-49%; Hemicelulosa 16-22%; lignina 18-25% (Dagnino *et al.*, 2012; Serrano *et al.*, 2012; Valverde *et al.*, 2007). En el caso de sustancias inorgánicas, la sílice representa aproximadamente el 20% de la cascarilla de arroz. La relación de C/N es mayor a 220:1, un valor muy alto que indica buenas características como cobertura, pero a su vez un bajo nivel de degradación (VIFINEX, 2002). Todo esto le confiere una naturaleza fuerte, leñosa y abrasiva; por lo cual, es resistente a factores ambientales. La bibliografía consultada (Bracho *et al.*, 2009; Pire y Pereira, 2003; Vargas *et al.*, 2013) revela valores de densidad aparente por el orden de los 80 a 160 kg.m⁻³, es decir es un material ligero (Bracho *et al.*, 2009; Vargas *et al.*, 2013). A su vez, al evaluar la retención de humedad de la cascarilla de arroz determinaron valores muy bajos, entre 5 a 15% en peso (Hernández *et al.*, 2007; Valverde *et al.*, 2007).

Para este ensayo se utilizó cascarilla de arroz y fue aplicada en la mezcla NRP (Pino-Arroz-Papel) en proporción 4:3:3.

b.5 Fibra de coco (*Cocos nucifera* L.): Sin duda, la fibra de coco es uno de los materiales más utilizados para la elaboración de sustratos en cultivos de hortalizas, así como componente en mezclas de hidrocoberturas. Físicamente corresponde a la cubierta protectora o cáscara de la fruta (mesocarpio) del cocotero (*C. nucifera*). Se trata de un remanente luego de la extracción del aceite y de la pulpa de coco. La fibra está constituida por una capa externa cubierta y una interna o xilema. En el xilema posee una alta proporción de pectina, mientras en la cubierta tiene mayores concentraciones de lignina. El material es liviano, poroso, y tiene una excelente capacidad de retención de humedad y muy resistente a la degradación provocada por microorganismos.

Las fibras de coco marrón maduro contienen más lignina y menos celulosa que fibras de lino o algodón y son menos flexibles. Se componen de fibras pequeñas, cada una de al menos 1,3

mm de largo y de 10 a 20 μm de diámetro. En la literatura se encuentra valores en la composición química de la fibra de coco con porcentajes de Celulosa: 40-60%, Lignina: 40-50%, Hemicelulosa: 5-20% (Chávez y López, 2008; Núñez, 2010; Paricaguán *et al.*, 2013).

En cuanto a la densidad aparente, varios autores han obtenido valores que van desde 54 hasta 84 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, lo que indica que es un material muy liviano, con pH ligeramente ácido (5,8-6,6) y una relación C:N de 80:1. (Bracho *et al.*, 2009; Pire y Pereira, 2003; Quesada y Méndez, 2005; VIFINEX, 2002). En cuanto a la capacidad de retención de humedad, en general se puede decir que es hasta 3 o 4 veces su peso. En la literatura se encuentra porcentajes que van desde 55 hasta 70% de retención de agua (Bracho *et al.*, 2009; Pire y Pereira, 2003; Quesada y Méndez, 2005). La principal limitación de este material tiene que ver con la salinidad, ya que su cultivo proviene principalmente de zonas costeras, por lo que se recomienda ser lavada antes de su uso como cobertura debido al alto contenido de sales que posee (Cruz *et al.*, 2013).

Para este ensayo, se utilizó fibra de coco, y fue agregada como componente en las mezclas C (100% fibra de Coco) y CP (Coco-Papel) en proporción 3:2.

b.6 Acículas de pino (*Pinus sp.*): Las acículas de pino, también llamadas paja de pino o aguja de pino, son las hojas de varias especies de pino (*Pinus spp*). Estas presentan una forma larga y fina pero no hiriente. Al producirse la abscisión natural, las acículas quedan al pie del árbol formando una cobertura gruesa sobre el suelo, generando un muy buen control de malezas. Este residuo es utilizado como mulch fresco o para ser compostado.

El elemento predominante es la celulosa que puede encontrarse en porcentajes desde 40 a 60% en peso. Por su parte, la lignina la podemos encontrar en coníferas en concentraciones entre el 20 y el 40 % (Duryea *et al.*, 1999; Fonseca, 2006; Wiegand, 1999).

Asimismo, Duryea *et al.* (1999) reportaron valores de densidad aparente con promedios de 20 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, en su estado inicial y sin ningún tipo de compresión, lo que indica que es un material muy liviano.

Una desventaja química de los materiales provenientes del pino es que tienden a acidificar el suelo, hasta valores de pH menores a 5, además de producir efectos alelopáticos en la germinación de las semillas, debido a la presencia de compuestos aromáticos hidroxilados (Duryea *et al.*, 1999), por lo que se recomienda el compostaje de este material antes de utilizarlo como mulch.

Para este ensayo se utilizó acícula de pino (*Pinus caribaea* Morelet) incluida en el tratamiento NRP (Pino-Arroz-Papel) en proporción 4:3:3.

b.7 Vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty): es una planta perenne de la familia de las Poáceas, nativa de la India. Puede crecer hasta 1,5 metros; sus tallos son altos, las hojas son largas, delgadas y rígidas. A diferencia de la mayoría de las gramíneas, las raíces del vetiver crecen masivamente de manera vertical y alcanzan una profundidad de hasta 4 metros (Alegre, 2007). Está siendo ampliamente usada en bioingeniería para control de erosión, fitorremediación de aguas y suelos contaminados por metales pesados, hidrocarburos, agroquímicos, y otras sustancias tóxicas (Andrade y Rodríguez, 2002; Briceño y Bolívar, 2007; Scavo *et al.*, 2005).

La Fibra de Vetiver es una de fibra natural que proviene de las hojas de dicha planta. Está compuesta por biocompuestos ligno-celulósicos que comprende la α -celulosa de tipo-I, hemicelulosa, lignina y otros compuestos de bajo peso molecular. Chaikumpollert (2003) en un estudio sobre la caracterización de las fibras de Vetiver, encontró que el principal polisacárido presente son las hemicelulosas (aproximadamente 40%), seguido por la celulosa (entre 30-35%). Por su parte, el contenido de lignina es de aproximadamente 10% y de sílice de más del 5%, confiriéndole cierta resistencia a la descomposición.

Para este proyecto, se utilizó hojas de Vetiver secadas por un período mayor a 6 meses incluyéndolo en el tratamiento VAP (Vetiver-Algodón-Papel) en proporción 4:3:3.

b.8 El Papel: El papel se obtiene a partir de las fibras compuestas de pulpa de celulosa, que se separa de la lignina por procedimientos químicos o físicos. El papel periódico, a diferencia

del papel blanco, contiene mayores cantidades de lignina, por lo que tiene ese color característico.

Cuando se aplica como hidrocobertura, las fibras más cortas de los productos de celulosa tienden a aglutinarse. Típicamente, la fibra de papel se aplica de 2.200 a 4.500 kg.ha⁻¹. Si se aplica a tasas más altas, la fibra de celulosa puede crear un "papel maché" sobre la superficie del suelo, lo que conlleva a una mala germinación de las semillas (Caltrans, 2010). Debido a este comportamiento, se han realizado estudios del potencial del mulch de papel como controlador de malezas con resultados variados según el tipo de papel y la dosis aplicada (Cirujeda *et al.*, 2012, 2014).

Se ha evaluado la composición química del papel periódico, presentando valores entre 40-55% de celulosa, de 25-40% de hemicelulosa y de un 15 a 30% de lignina. (Bellido, 2013).

Para este ensayo se utilizó papel periódico aplicándolo en las mezclas NRP (Pino-Arroz-Papel) en proporción 4:3:3, VAP (Vetiver-Algodón-Papel) en proporción 4:3:3 y CP (Coco-Papel) en proporción 3:2.

Todas las fibras se procesaron en una máquina trituradora de jardín, hasta lograr tamaños menores o iguales a 1,5 cm. Posteriormente, se almacenaron en envases plásticos hasta su uso en las distintas mezclas.

En total, se realizaron 10 tratamientos con tres repeticiones para cada uno, incluyendo un tratamiento control sin ningún tipo de fibra. En el Cuadro 5 se detallan las fibras y las mezclas de las mismas evaluadas en este trabajo, así como la nomenclatura utilizada para su identificación durante el desarrollo de la investigación.

Cuadro 5. Fibras y mezclas de fibras utilizadas como acolchado (mulch) en los tratamientos.

Nombre	Código	Réplicas		
Sin fibras	<i>S</i>	<i>S₁</i>	<i>S₂</i>	<i>S₃</i>
Fibra de coco	<i>C</i>	<i>C₁</i>	<i>C₂</i>	<i>C₃</i>
Algodón	<i>A</i>	<i>A₁</i>	<i>A₂</i>	<i>A₃</i>
Bagazo de caña	<i>B</i>	<i>B₁</i>	<i>B₂</i>	<i>B₃</i>
Vetiver	<i>V</i>	<i>V₁</i>	<i>V₂</i>	<i>V₃</i>
60% fibra de coco – 40% papel	<i>CP</i>	<i>CP₁</i>	<i>CP₂</i>	<i>CP₃</i>
60% bagazo de caña – 40% fibra de coco	<i>BC</i>	<i>BC₁</i>	<i>BC₂</i>	<i>BC₃</i>
40% aguja de pino; 30% Concha de arroz; 30% papel	<i>NRP</i>	<i>NRP₁</i>	<i>NRP₂</i>	<i>NRP₃</i>
40% vetiver; 30% algodón; 30% papel	<i>VAP</i>	<i>VAP₁</i>	<i>VAP₂</i>	<i>VAP₃</i>
Producto Comercial	<i>F</i>	<i>F₁</i>	<i>F₂</i>	<i>F₃</i>

c. La semilla

Para la semilla se utilizó *Brachiaria brizantha*, obtenida comercialmente. A continuación se detallan las características principales mencionadas por la empresa matriz (MARANGATÚ):

- Nombre Científico: *Brachiaria brizantha*
- Cultivar: Marandú
- Categoría: s2
- Viabilidad: 81%
- Pureza: 95,6%
- Semillas por kilo: 110.000-130.000

Se procedió a contar de forma individual el número de semillas que se utilizaría en tratamiento, específicamente 150 semillas por unidad experimental, y almacenarlas hasta su uso en los distintos ensayos.

d. Agentes aglutinantes

Otros componentes fundamentales en la hidrosiembra son los agentes aglutinantes. Para este ensayo se utilizaron dos productos comerciales descritos a continuación:

- **Hidrogel:** es un producto sintético, que absorbe agua cientos de veces su peso y la proporciona paulatinamente a las raíces de todo tipo de plantas. El producto mejora las características del suelo, como son la retención y disponibilidad del agua, la aireación y la descompactación.
- **HYDROPAM™:** también llamada poliacrilamida soluble en agua. Es un estabilizante sintético con propiedades hidrófilas, y consigue que la mezcla sea más estable sobre la superficie del suelo, facilitando la germinación de las semillas y asegurando el enraizamiento eficaz de las plantas. Es considerado un acondicionador de suelos.

e. Fertilizante:

Se utilizó un fertilizante hidrosoluble NPK 13-40-13, el cual se caracteriza por tener una alta concentración de fósforo. Esta característica favorece los procesos de enraizamiento de las plantas, acelerando así la germinación y establecimiento de una vegetación.

Montaje de los experimentos

La comprobación de los objetivos planteados se llevó a cabo en cuatro fases experimentales distintas, por medio de ensayos de invernadero y laboratorio. En el Anexo 3 al Anexo 6 se observan detalles fotográficos sobre los distintos procedimientos aplicados.

1. Caracterización de las fibras seleccionadas con fines de hidrosiembra.

Existen múltiples parámetros que nos permiten caracterizar adecuadamente las fibras naturales. Entre las más importantes podemos mencionar: estructura físico-química de las fibras, densidad aparente, retención de humedad y la relación C:N. Para este trabajo se realizó específicamente la determinación de la retención de humedad de las fibras por

considerarse la característica diferencial más importante. Para el resto de las variables, la investigación se apoyó en la literatura mencionada anteriormente.

Retención de humedad de las fibras a ser usadas con fines de hidrosiembra

Para la obtención de la capacidad de retención de humedad se pesó una muestra de 5 g de cada fibra (P_s); luego se sumergió en agua durante 1 h, para posteriormente filtrarlas y quitar el exceso de humedad, y así obtener el peso húmedo (P_h). La ecuación fue empleada para calcular la capacidad de retención fue la siguiente:

$$\%retención = \frac{P_h - P_s}{P_h} * 100$$

Dónde: P_s es el peso en gramos de la fibra en humedad ambiente (60% humedad relativa), P_h es el peso en gramos en el punto de saturación de la fibra.

2. *Evaluación del control de erosión ofrecido por las mezclas de hidrosiembra ante el impacto de la gota de lluvia.*

Rodríguez (2010) y otros autores definen la erosionabilidad del suelo como su susceptibilidad a ser erosionado, y viene dada por tres propiedades intrínsecas del mismo: separabilidad, transportabilidad y riesgos de escurrimiento. Por su parte la separabilidad es definida como la susceptibilidad del suelo a ser disgregado y separado de la masa de suelo.

Paez (1986) menciona un Índice de separabilidad del sustrato (I_s) que fue propuesto y desarrollado por Ellison (1947, 1948). En él se relacionan las pérdidas de un suelo específico con las pérdidas de un patrón contentivo de arena estándar, permitiendo conocer el comportamiento de un suelo ante el impacto de la gota y su tendencia a la separabilidad de sus agregados, dispersión de los mismos y desarrollo de los procesos de sellado y encostramiento superficial. Para este trabajo se evaluó este índice de separabilidad del sustrato, y se estimó un factor de separabilidad de las mezclas

elaboradas, con la finalidad de evaluar el comportamiento de las mismas ante el impacto de la gota de lluvia simulada de alta intensidad.

Los 10 tratamientos evaluados son los detallados anteriormente en el Cuadro 5. A ellos se incluyeron dos tratamientos, con tres repeticiones cada uno, los cuales consistieron en:

- Arena Estándar (AE): se seleccionó Arena Estándar sin ningún tipo de aditivo, con partículas de 100 a 250 μm de diámetro.
- Sustrato solo (ST): se utilizó el sustrato sin ningún tipo de mezcla ni aditivo.

En la Figura 2 se esquematiza la metodología aplicada en el experimento para estimar pérdidas de suelo por salpique. Cada unidad experimental consistió en una copa de salpicadura, de 16 cm^2 , a la cual se colocó un papel secante en el fondo, y se le agregó 4 cm del sustrato previamente cernido, hasta llegar al tope de las mismas.



Figura 2. Esquema del experimento en copas de salpicadura para estimar pérdidas de material por salpique.

Para la elaboración de las mezclas de hidrosiembra se utilizó un envase de aproximadamente 500 cm^3 . En primer lugar, se diluyó en agua el estabilizante sintético, el hidrogel y el fertilizante, agregándolos lentamente para evitar la formación de grumos y agitando la mezcla de forma constante. Posteriormente se adicionó la fibra respectiva para cada tratamiento y se continuó removiendo la mezcla durante 10 minutos aproximadamente. Luego se agregó agua hasta lograr la consistencia viscosa deseada de la mezcla.

Seguidamente, la mezcla de hidrosiembra se esparció sobre la copa hasta cubrir la mayor superficie posible. En el Cuadro 6 se detallan las cantidades utilizadas de cada componente de la mezcla para la elaboración de los tratamientos.

Cuadro 6. Componentes de las mezclas de hidrosiembra para copas de salpicadura.

Producto	Dosis (g.m ⁻²)	g/copa
Agua	4.500,00	35,34
hidrogel (comercial)	1,22	0,01
aglutinante PAM (comercial)	5,00	0,04
fertilizante 13/40/13	50,00	0,39
fibras Según el tratamiento	350,00	2,75

Fuente: Alvarez *et al.*, 2011; Jorba y Vallejo, 2010; cálculos propios, 2014.

Una vez preparados todos los tratamientos se procedió a secarlos en estufa a 70º C, por 48 h. Al final de ese período se pesaron para obtener el peso inicial (P₁).

El siguiente paso consistió en colocar las muestras en el simulador de lluvia ubicado en el Departamento de Física de Suelos de la FAGRO (Pla, 1983); para ello se les colocó una extensión plástica de 30 cm a cada copa evitando el salpique de material entre los tratamientos. Las características de la lluvia aplicada fueron: Diámetro de la gota: 4,5 mm; Altura de caída de las gotas: 2,87 m. Las muestras se sometieron a una lluvia de alta intensidad (con valores calculados de 69-95 mm.h⁻¹) y corta duración (20 minutos).

Posteriormente, Las copas se dejaron escurrir un día, para luego secarlas en estufa por segunda vez durante 48 h a 70ºC., y realizar un pesaje final de las mismas (P₂). La diferencia entre peso inicial y final (P₁-P₂), relacionándola con la cantidad de lluvia recibida en el simulador, fue la variable medida para estimar las pérdidas de suelo por salpicadura.

Para este experimento se relacionaron las pérdidas del suelo testigo (ST) con las pérdidas del tratamiento Arena Estándar (AE).

$$I_s = \frac{PST_2 - PST_1}{PAE_2 - PAE_1}$$

Donde, PST representa las pérdidas del suelo testigo (ST) y PAE las pérdidas de suelo de la Arena Estándar (AE), ambas variables medidas en $\text{g.cm}^2.(\text{mm.h}^{-1})^{-1}$

Adicionalmente, se determinó un factor de separación (Fs) ante el impacto de la gota de lluvia, relacionando las pérdidas de suelo en cada tratamiento con las pérdidas de suelo en el tratamiento testigo (ST):

$$F_s = \frac{Ptrat_2 - Ptrat_1}{PST_2 - PST_1}$$

Donde, Ptrat representa las pérdidas de material de un tratamiento específico y PST las pérdidas del sustrato utilizado (ST), ambas variables medidas en $\text{g.cm}^2.(\text{mm.h}^{-1})^{-1}$.

Para el análisis estadístico se aplicó un análisis de varianza y pruebas de media para las variables Índice de Separabilidad del suelo (Is), Factor de Separación debido al tratamiento (Fs).

3. *Evaluación de las mezclas de hidrosiembra en el establecimiento de la vegetación.*

Lauro y Theisen (2007) definen el establecimiento vegetativo como una medida de la capacidad de un material de controlar la erosión para fomentar la germinación de semillas y el crecimiento de las plantas. Esta propiedad depende de la capacidad de retención de agua del medio. Por lo general, cuanto más humedad puede retener la mezcla, la vegetación se establecerá más rápido. Pero también depende de la flexibilidad de la matriz en el establecimiento de la vegetación. Cuanto más flexible es la mezcla, ésta se ajusta mejor al sustrato base, obteniendo así un contacto más uniforme con la semilla y el suelo.

En este ensayo, se evaluaron las mezclas en el establecimiento de la vegetación tomando en cuenta tres aspectos relacionados con el crecimiento vegetativo: la germinación/sobrevivencia de las plántulas, cobertura alcanzada por la vegetación y la evolución de los factores biométricos de las plántulas (altura, nº de hojas y biomasa). Por

su parte, se utilizó la medición del porcentaje de cobertura inicial ofrecida por las mezclas en las bandejas tipo A como una variable relacionada con el criterio de eficacia en el control de la erosión. En la Figura 3 se esquematiza el proceso de diseño del experimento en las bandejas tipo A para la evaluación del establecimiento vegetativo de los tratamientos.



Figura 3. Esquema del experimento en bandejas tipo A para evaluar el establecimiento vegetativo desarrollado en las mezclas de hidrosiembra.

El diseño experimental consistió en el arreglo completamente aleatorizado de diez tratamientos con tres repeticiones. Cada unidad experimental consistió en una bandeja metálica, que denominamos tipo A (30 cm x 50 cm: 150 cm²), a la cual se le agregó 6 cm del sustrato previamente cernido. Durante tres semanas se regaron para favorecer el desarrollo de malezas, y al final del período se procedió a realizar un control físico de las mismas por medio de la quema con un soplete. Este procedimiento se repitió dos semanas después.

Para la elaboración de las mezclas de hidrosiembra se agregaron en un envase de aproximadamente 3 litros los componentes respectivos. En primer lugar, el estabilizante sintético, el hidrogel y el fertilizante se diluyeron en agua, dosificándolos lentamente para evitar la formación de grumos y removiendo la mezcla de forma constante con un agitador acoplado y accionado por un taladro eléctrico. Posteriormente se adicionó la dosis de fibra respectiva para cada tratamiento y se continuó removiendo la mezcla con el agitador durante 10 minutos aproximadamente. Se añadió agua, aproximadamente 1 litro, hasta lograr la consistencia viscosa deseada de la mezcla. En el Cuadro 7 se detallan las cantidades utilizadas de cada componente de la mezcla para la elaboración de los tratamientos. No se incluyó en la mezcla las semillas para controlar la población inicial de plantas, y buscar una distribución más uniforme en las microparcels.

Cuadro 7. Componentes de las mezclas de hidrosiembra para bandejas tipo A.

Producto	Dosis (g.m⁻²)	g/bandeja A
Agua	4.500,00	675,00
hidrogel (comercial)	1,22	0,18
aglutinante HYDROPAM™ (comercial)	5,00	0,75
fertilizante 13/40/13	50,00	7,50
fibras Según el tratamiento	350,00	52,50
semilla <i>Brachiaria brizantha</i> (comercial)	10,00	1,50

Fuente: Alvarez *et al.*, 2011; Jorba y Vallejo, 2010; cálculos propios, 2014.

Se procedió a colocar las semillas de forma ordenada en pequeños surcos abiertos en la superficie del sustrato de cada bandeja: 15 semillas por surco, 10 surcos por bandeja. Posteriormente, se agregó el contenido de la mezcla de hidrosiembra sobre la bandeja específica para cada tratamiento hasta cubrir la mayor cantidad posible de superficie de la misma. El riego se realizó aproximadamente cada ocho horas, con un sistema automatizado de riego por microaspersión, durante las ocho semanas que duró el ensayo.

Entre las variables medidas en cada bandeja tipo A tenemos:

3.1. Cobertura inicial de las mezclas. Basándose en la metodología utilizada por Tejada y Rodríguez (1989) para evaluar la cobertura de residuos en el control de la erosión, se tomó una fotografía a cada bandeja al día siguiente de montaje del ensayo utilizando una cámara fotográfica Panasonic Lumix modelo DMC-FZ18, a aproximadamente 50 cm de altura de la superficie de la mezcla. Seguidamente, las fotos fueron descargadas en un computador donde se recortaron a proporción 4:3, seleccionando la parte central de la bandeja en cada caso. A continuación, se estimó el porcentaje de cobertura ofrecido por las mezclas, por medio de dos métodos distintos: el análisis fotográfico con el programa informático CobCal 2.1, y una grilla elaborada en PowerPoint para la estimación de la cobertura:

a. Análisis fotográfico CobCal 2.1

Se empleó el programa informático CobCal 2.1. Cada fotografía a analizar se calibró seleccionando los colores que interesaban y descartando los que no correspondía a la medición. El programa produce un resultado sobre el porcentaje de cobertura estimado según los colores seleccionados, y que en este caso, equivalen al porcentaje de cobertura que abarca el tratamiento aplicado sobre la superficie de la bandeja estudiada.

b. Análisis fotográfico con grilla.

Este análisis se adaptó de una de las metodologías propuestas por Tejada y Rodríguez (1989) para evaluar residuos en el control de la erosión a partir de una fotografía de la parcela a medir y una grilla. En este caso se empleó el programa informático PowerPoint, para desplegar una grilla con proporción 4:3, que marca 50 puntos de intercepción ubicados aleatoriamente. Se procedió a cargar en el programa mencionado la fotografía que se deseaba analizar (la misma utilizada en el análisis fotográfico CobCal 2.1), sobreponiendo la grilla. Se contaron los puntos de la grilla que coincidía con la mezcla de hidrosiembra ($NPt_{cobertura}$), para

luego estimar el porcentaje de cobertura de las mezclas a través de la fórmula:

$$\%CM = \frac{NPto_{cobertura}}{50} * 100$$

El porcentaje de cobertura inicial ofrecido por la mezcla es utilizado para estimar uno de los subfactores del factor C de la ecuación de EUPS (Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo). Se ha determinado que con un 30 % de cobertura de residuos en superficie, sin considerar la cobertura del dosel, reduce las pérdidas de suelo en superficie en un 50% (Wischmeier y Smith (1978) mencionado por Rodríguez (2010)). Los datos obtenidos en los dos métodos, se anotaron en una hoja de cálculo para su análisis estadístico.

3.2. **Germinación y sobrevivencia de las plántulas:** El porcentaje de germinación se determina como la relación entre el valor máximo de plántulas alcanzado por cada tratamiento durante el periodo de 8 semanas y el total de semillas sembradas en cada bandeja (150 semillas). Para el porcentaje de sobrevivencia se relacionó sólo la última medición de plantas vivas al final del periodo de evaluación con el total sembrado. Estos parámetros tienen una relación directa con el establecimiento vegetativo, ya que a mayor número de semillas germinadas, se infiere una mayor población de plántulas, ofreciendo a su vez una mayor cobertura vegetal sobre el sustrato problema.

3.3. **Cobertura de la vegetación:** El porcentaje de cobertura de la vegetación se define como la relación que existe entre la superficie cubierta por vegetación con un área específica del suelo. Esta variable guarda una relación directa con el establecimiento vegetativo que se genera en una mezcla de hidrosiembra. A mayor porcentaje de cobertura se considera que se ha favorecido el crecimiento y que existe un efecto positivo de la mezcla. Sin embargo, no sólo es importante el valor máximo que se alcance, sino también se busca un rápido crecimiento de la vegetación en función del tiempo, ya que de esta forma se estaría favoreciendo y

protegiendo al suelo de los factores erosivos del clima lo antes posible. Para medir esta variable se realizó una fotografía semanal durante las 8 semanas del ensayo a cada bandeja, para posteriormente medir el porcentaje de cobertura de la vegetación, por medio del análisis fotográfico con el programa informático CobCal 2.1.

a. Análisis fotográfico CobCal 2.1

El procedimiento fue semejante al utilizado para medir cobertura inicial de las mezclas, detallado en el punto 3.1 sección a. En este caso la variable estimada por el programa fue el porcentaje de cobertura de la vegetación (%CV).

b. Análisis fotográfico con grilla.

El procedimiento fue semejante al utilizado para medir cobertura inicial de las mezclas, detallado en el punto 3.1 sección b. En este caso se contaron los puntos de la grilla que coincidieron con la vegetación desarrollada en la bandeja ($N_{Pto_{vegetación}}$), para luego estimar el porcentaje de cobertura de vegetación a través de la fórmula:

$$\%CV = \frac{N_{Pto_{vegetación}}}{50} * 100$$

Los datos obtenidos en los dos métodos, se anotaron en una hoja de cálculo para su análisis estadístico.

3.4. Componentes biométricos. La caracterización biométrica de la vegetación hace referencia a aquellas variables biológicas que se miden y analizan en una planta. Para efectos de este ensayo se realizaron mediciones en cuanto al número de hojas por planta, la altura alcanzada por planta y se estimó la biomasa producida al final del ensayo. Estas variables permiten conocer el comportamiento individual de las plántulas en cuanto a su crecimiento vegetativo y evaluar si existió interferencia o no entre los tratamientos en el crecimiento poblacional. En primer

lugar, se seleccionaron y marcaron 5 plántulas al azar por bandeja, y se les midió semanalmente, durante las 8 semanas del ensayo, el número de hojas, y el tamaño de las plántulas.

Por su parte, la producción de biomasa aérea es un parámetro que indica la relación entre la masa producida en la parte aérea de la planta por unidad de superficie y es un estimador del crecimiento de la vegetación dentro de cada unidad experimental.

Para calcular este parámetro, se cosechó en cada bandeja Tipo A todo el material vegetal al ras de la superficie del sustrato a la 8^{va} semana del ensayo. Luego se colocó el material en estufa por 72 horas a 70°C hasta alcanzar peso constante, para posteriormente pesarlo. La biomasa producida (BM) se obtuvo por medio de la fórmula:

$$BM = \frac{m_s}{A}$$

Donde m_s es la masa seca del material al salir de estufa (en kg), y A representa la superficie de donde fue cosechada (en m²). Los datos se anotaron en una hoja de registro y se pasaron a una hoja de cálculo para su análisis estadístico.

A las variables cobertura de las mezclas (%CM), cobertura de la vegetación (%CV), Número de hojas (Nh), Altura de las plantas (Ap) y Biomasa (BM) se les aplicó un análisis de varianza y pruebas de media, para evaluar su comportamiento estadístico, utilizando el programa informático IBM SPSS Statistics 21.

4. *Evaluación de la longevidad funcional de las mezclas de hidrosiembra.*

La longevidad funcional es una medida de cuánto tiempo se puede esperar que la matriz aplicada hidráulicamente proteja la semilla y el suelo de la erosión por salpicadura causada por la lluvia y el flujo laminar resultante (Lauro y Theisen, 2007). Esto varía de una región a otra y depende de condiciones climáticas, como la intensidad, duración y frecuencia de eventos de precipitación, radiación solar entrante y temperatura. Otros parámetros que afectan a la longevidad funcional incluyen la orientación de la pendiente,

la inclinación de la pendiente, longitud de la pendiente, tipo de suelo y características de la vegetación.

La longevidad funcional, o resistencia a la degradación de una mezcla de hidrosiembra, puede ser correlacionada por medio del porcentaje de eficacia en el control de la erosión (PE), pero el método más recomendado para su determinación es el uso de la experiencia de campo y el juicio por un profesional cualificado. Este parámetro es una consideración importante en las pendientes desafiantes y otros sitios con alto potencial de erosión y la posibilidad de establecimiento de la vegetación lento, donde se requiere una protección prolongada mientras se establece la vegetación. En la Figura 4 se esquematiza el proceso de elaboración del experimento en bandejas tipo B para evaluar la longevidad funcional de las mezclas.



Figura 4. Esquema del experimento en bandejas tipo B para evaluar la longevidad funcional de las mezclas de hidrosiembra.

El diseño experimental consistió en un arreglo completamente aleatorizado de diez tratamientos con tres repeticiones (ver Cuadro 5). En el Anexo 1 se describe la distribución de las unidades experimentales en los mesones. Cada unidad experimental consistió en

una bandeja plástica, que denominamos tipo B (150 cm²), a la cual se le agregó 4 cm del sustrato previamente cernido a 4 mm, y se les aplicó una mezcla de herbicidas pre-emergentes y sistémicos como control de malezas.

Para la elaboración de las mezclas de hidrosiembra se incorporaron en un envase de aproximadamente 1 litro los componentes respectivos. El estabilizante sintético (HydropamTM), el hidrogel y el fertilizante se diluyeron en agua, agregándolos lentamente para evitar la formación de grumos y agitando la mezcla de forma constante con un agitador acoplado y accionado por un taladro eléctrico. Posteriormente se adicionó la fibra respectiva, previamente pesada, para cada tratamiento y se continuaba removiendo la mezcla con el agitador durante 10 minutos aproximadamente. Se añadió agua, aproximadamente 250 ml, hasta lograr la consistencia viscosa deseada de la mezcla. En el Cuadro 8 se detallan las dosis utilizadas de cada componente de la mezcla para la elaboración de los tratamientos en las bandejas Tipo B.

Cuadro 8. Componentes de las mezclas de hidrosiembra para bandejas Tipo B.

Producto	Dosis (g.m⁻²)	g/bandeja B
Agua	4.500,00	67,50
hidrogel (comercial)	1,22	0,02
aglutinante HYDROPAM TM (comercial)	5,00	0,08
fertilizante 13/40/13	50,00	0,75
fibras Según el tratamiento	350,00	5,25

Fuente: Alvarez *et al.*, 2011; Jorba y Vallejo, 2010; cálculos propios, 2014.

Se colocó en la superficie del sustrato, una malla filtrante tipo mosquitero, que estuviera en íntimo contacto con el suelo y con los organismos descomponedores presentes en el mismo, y que permitió la colecta de la fibra remanente al final del experimento. Posteriormente, se agregó el contenido de la mezcla de hidrosiembra sobre la bandeja específica para cada tratamiento hasta cubrir la mayor cantidad posible de superficie de la misma. Se aplicó un riego aproximadamente cada tres días, de forma manual, durante las dieciséis semanas que duró el ensayo.

Entre las variables medidas en las bandejas tipo B, tenemos:

1. **Cobertura de las mezclas.** Se tomó fotografía a cada bandeja tipo B al principio del ensayo, y al final del mismo (a las 16 semanas) para posteriormente estimar el porcentaje de cobertura ofrecido por las mezclas, por medio del análisis fotográfico con el programa informático CobCal 2.1.
2. **Pérdidas por degradación natural:** al finalizar el ensayo, se separaron los residuos de la mezcla de hidrosiembra ubicados sobre la malla filtrante en cada tratamiento, y se llevaron a estufa por 48 h a 70°C para calcular su peso seco. Este peso se contrastó con la cantidad de fibra agregada a la mezcla al principio del ensayo; y las diferencias entre ambas mediciones permitió estimar las pérdidas de material por degradación natural durante el ensayo.

A las variables pérdidas de cobertura y pérdidas en peso se les aplicó el análisis de varianza y pruebas de media, para evaluar su comportamiento estadístico, utilizando el programa informático IBM SPSS Statistics 21.

A continuación se detallan los resultados obtenidos en los experimentos diseñados con el objeto de evaluar fibras a ser usadas en mezclas con fines de hidrosiembra, que permitieron cuantificar la eficiencia de las mismas en criterios como el control de la erosión por el impacto de la gota de lluvia, el establecimiento de la vegetación, y la longevidad funcional de las mezclas. Debido a la gran cantidad de datos e información recabada y generada, se incluyen anexos en formato digital (Anexos externos 24 al 29) donde se complementa y es posible examinar aquella información que por razones de espacio y organización no se incluye en este capítulo, tanto fotografías descriptivas de los experimentos como fotografías utilizadas para la evaluación de los mismos.

1. Caracterización de las fibras seleccionadas a ser usadas con fines de hidrosiembra.

En el Cuadro 9 se condensan las principales características de las fibras que fueron seleccionadas para este ensayo con fines de hidrosiembra. La información más relevante nos indica que todas las fibras presentan valores de densidad aparente muy bajos, mucho menores al agua (1000 kg.m^{-3}), y con una relación C:N alta, que se relaciona con dificultad para la degradación de las mismas. Los contenidos de celulosa, constituyen una característica principal en el algodón y en el papel periódico, proveyéndoles un buen comportamiento como retenedores de humedad.

Cuadro 9. Características principales de las fibras seleccionadas con fines de hidrosiembra.

Fibra	Símbolo	Da (kg.m^{-3})	C:N	Celulosa: Hemicelulosas: Lignina
Fibras de Algodón	A	-	-	90:5:5
Bagazo de caña	B	50-96	50:1	40:29:21
Fibra de coco	C	54-84	80:1	50:40:10
Flexterra	F	37	-	-
Cáscara de arroz	R	80-160	220:1	45:22:33
Aguja de Pino	N	20	-	-: -:30
Papel periódico	P	-	-	50:30:20
Vetiver	V			32:40:10

Por su parte, los resultados obtenidos en la evaluación de la capacidad de retención de humedad de las fibras son descritos a continuación.

Retención de humedad de las fibras a ser usadas con fines de hidrosiembra.

Como se mencionó anteriormente, la retención de humedad de las fibras es un parámetro importante que nos permite conocer el comportamiento de las mismas ante la humedad del aire y de suelo. Mientras mayor sea la retención de humedad, habrá mayor disponibilidad de agua y por más tiempo para la semilla y posteriormente la plántula. En el Cuadro 10 se detalla los promedios de retención de humedad obtenidos durante la prueba.

Cuadro 10. Capacidad de retención de humedad de las fibras.

fibra	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Humedad (g)	Retención (%)	Razón de retención p/p
Flexterra®	2,00	35,15	33,15	94,3	17 a 1
Papel	2,00	34,90	32,90	94,3	16 a 1
Algodón	2,00	32,15	30,15	93,8	15 a 1
Arroz	2,00	11,50	9,50	82,6	5 a 1
Coco	2,00	10,78	8,78	81,4	4 a 1
Bagazo de Caña	2,00	10,30	8,30	80,6	4 a 1
Vetiver	2,00	9,50	7,50	78,9	4 a 1
Pino	2,00	7,74	5,74	74,2	3 a 1

Las fibras Papel (P) y algodón (A), pueden retener agua más de 15 veces su peso en seco y marcan una diferencia con respecto a las demás, las cuales muestran tasas menores o iguales a 5. Este comportamiento podría atribuirse a ser los materiales con mayor contenido de celulosa. En el caso específico del Flexterra® (F), la medición obtenida fue ligeramente superior a la información aportada por el fabricante donde indica una capacidad de retención de agua de 1500%. Por su parte, el tratamiento térmico-mecánico del producto comercial y el contenido de componentes como el hidrogel podría explicar la alta retención de humedad de este producto.

2. Evaluación de las mezclas con fines de hidrosiembra en el control de la erosión.

Para la evaluación de las mezclas con fines de hidrosiembra se tomaron en consideración las variables obtenidas en dos unidades experimentales distintas: la medición del Factor de separabilidad de las mezclas ante el impacto de la gota de lluvia simulada en las copas de salpicadura y el porcentaje de cobertura inicial ofrecido por las mezclas en las bandejas tipo A. Los resultados obtenidos en ambas mediciones se detallan a continuación.

2.1. Evaluación de la erosión ante el impacto de la gota.

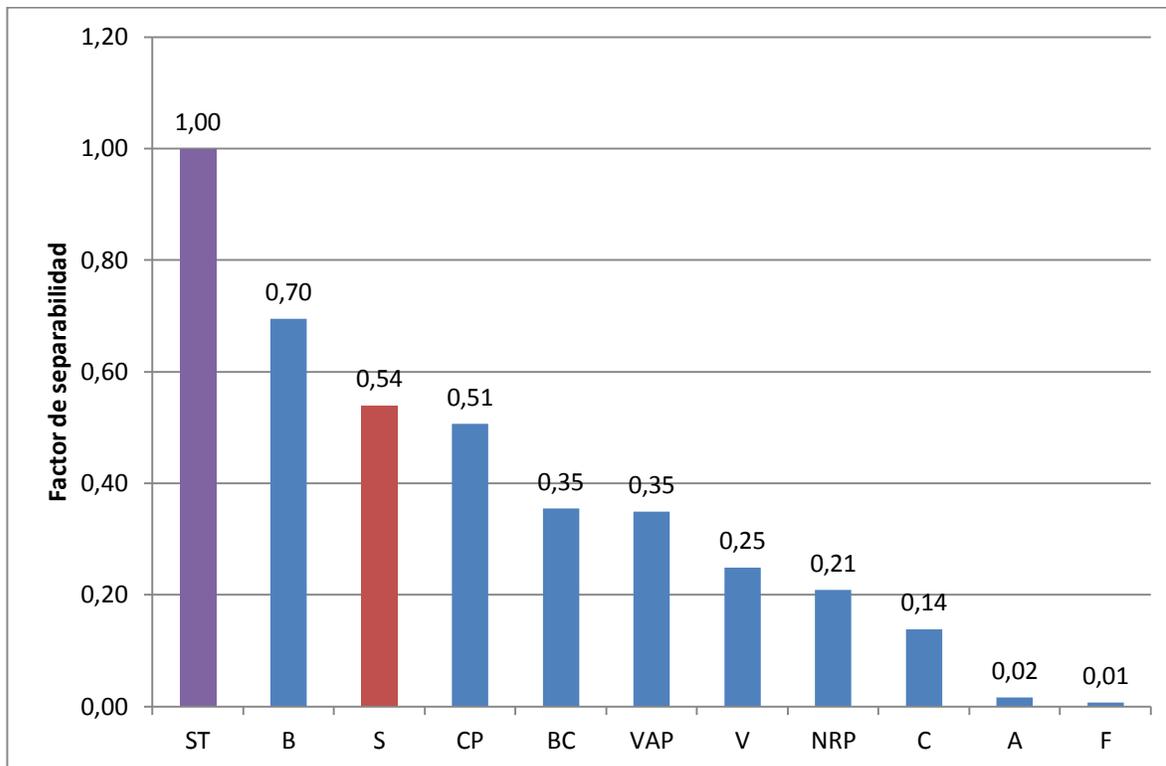
Como se describe en la metodología, la evaluación de la eficacia de las mezclas en el control de la erosión ante el impacto de la gota de lluvia fue realizada estimando las variables: índice de separabilidad del sustrato (I_s) y el factor de separabilidad debido a las mezclas (F_s). A continuación se detallan los resultados obtenidos.

2.1.1. Índice de separabilidad del sustrato.

Para el sustrato estudiado, el índice de separabilidad en seco calculado fue de 0,93, es decir es un sustrato con alta separabilidad ante el impacto de la gota de lluvia de alta intensidad (ver Anexo 7). Esta característica puede relacionarse con el alto porcentaje de arena y limo presentes en dicho sustrato (<80%), lo que indica poca estructura y facilidad para disgregarse.

2.1.2. Factor de separabilidad de las mezclas de hidrosiembra.

En la figura siguiente se observa la influencia del tratamiento aplicado en disminuir las pérdidas de material ante el impacto de la gota de lluvia simulada de alta intensidad. Para detalles sobre las mediciones obtenidas en laboratorio ver Anexo 8.



Leyenda de Tratamientos: A: algodón; B: bagazo de caña; BC: bagazo-coco; C: coco; CP: coco-papel; F: Flexterra®; NRP: pino-arroz-papel; S: mezcla sin fibras; ST: sin mezcla, V: vetiver; VAP: vetiver-algodón-papel.

Figura 5. Factor de separabilidad de las mezclas por tratamiento.

Se puede observar en la Figura 5, que los tratamientos Bagazo de caña (B) y Coco-Papel (CP) presentaron los valores del factor de separabilidad más altos. Todos los demás tratamientos obtuvieron valores menores al 0,5 lo que indica una eficiencia de más de 65% en disminuir los efectos del impacto de la gota de lluvia de alta intensidad. Inclusive, tratamientos como el algodón (A) y el producto comercial (F) prácticamente dieron valores muy cercanos a cero, con una eficiencia cercana al 100%, lo que indica muy pocas pérdidas de material por el impacto de la gota, y por ende muy bajos riesgos de la formación del sello y encostramiento en la superficie del sustrato.

En el Cuadro 11 se puede detallar las diferencias estadísticas entre los tratamientos (ver Anexo 9); se observa que los tratamientos Bagazo de caña (B) y el Coco-Papel (CP) presentan un comportamiento semejante al tratamiento testigo sin fibras (S), lo que revela su poca eficiencia en evitar la separabilidad de las partículas de las mezclas. Comparativamente, tratamientos

como el producto comercial (F), Algodón (A), Coco (C), Pino-Arroz-Papel (NRP) y Vetiver (V) presentaron diferencias significativas con respecto al tratamiento sin fibras (S), lo que indica su eficiencia en el control de la erosión ante el impacto de la gota de lluvia. Sin embargo, ninguno de los tratamientos obtuvo un comportamiento mejor que el producto comercial (F). Aunque el tratamiento con fibras de algodón (A) fue muy similar en eficiencia, y el tratamiento con coco (C) con valores bastantes altos de eficiencia en disminuir las pérdidas de material por efecto del impacto de la gota.

Cuadro 11. Factor de separabilidad de las mezclas debido al tratamiento* .

Tratamiento	Símbolo	Factor de separabilidad
Flexterra®	F	0,01 ^a
Algodón	A	0,02 ^a
Coco	C	0,14 ^{ab}
Pino-Arroz-Papel	NRP	0,21 ^{bc}
Vetiver	V	0,25 ^{bc}
Vetiver-Algodón-Papel	VAP	0,35 ^{cd}
Bagazo de caña-Coco	BC	0,35 ^{cd}
Coco-Papel	CP	0,50 ^{de}
Sin fibra	S	0,54 ^{de}
Bagazo de caña	B	0,69 ^e
Sin mezcla	ST	1,00 ^f

Un caso especial se observa con la mezcla con bagazo de caña (B), donde se registraron valores de separabilidad por encima inclusive del tratamiento Sin fibras (S), lo que indica que el tipo de fibra utilizado disgregó a una tasa mayor que el mismo suelo con solamente aditivos. Este comportamiento puede atribuirse al tipo de fibra de bagazo de caña de azúcar utilizado, que presentó poca resistencia, debido a su mayor nivel de disgregación, contabilizándose altas pérdidas de esta fibra durante la prueba por efecto del salpique.

El factor de separabilidad del tratamiento S (tratamiento sin ningún tipo de fibra) es un valor muy interesante ya que nos indica el efecto de los aditivos (HYDROPAM™, hidrogel) en el

*Prueba de Medias de Duncan: Letras iguales en una misma columna representan un grupo estadístico homogéneo. $\alpha=0.05$.

control de la erosión. Como se observa en el cuadro anterior, para el sustrato utilizado dio un valor de separabilidad de 0.54, lo que indica que puede atribuirse un 46% en la disminución de las pérdidas por salpique del sustrato a los aditivos utilizados, principalmente del Hydropam™, que es el biopolímero utilizado como aglutinante en la mezcla.

2.2. Evaluación de la cobertura inicial de las mezclas como indicador de control de la erosión.

Un alto porcentaje de cobertura inicial de las mezclas sobre el suelo, está relacionado con una mayor protección del suelo y de la semilla ante las pérdidas por erosión. En el Cuadro 12 se observan los valores promedios de cobertura obtenidos en los tratamientos al inicio del ensayo, utilizando dos metodologías de evaluación anteriormente mencionadas: el análisis fotográfico con la grilla en PowerPoint y el análisis fotográfico con el programa informático CobCal 2.1.

Cuadro 12. Cobertura inicial de las mezclas (%) en cada tratamiento. Mediciones con la Grilla y CobCal*

Tratamientos	Símbolo	CobCal (%)	Grilla (%)
Sin fibra	S	00,0 ^a	00,0 ^a
Bagazo de caña-Coco	BC	65,3 ^b	66,7 ^b
Bagazo de caña	B	78,0 ^c	74,7 ^c
Vetiver	V	78,7 ^c	79,3 ^{cd}
Coco	C	82,7 ^c	83,3 ^d
Coco-Papel	CP	90,0 ^d	93,3 ^e
Flexterra®	F	93,0 ^d	91,3 ^e
Pino-Arroz-Papel	NRP	93,7 ^d	96,7 ^e
Algodón	A	94,7 ^d	96,0 ^e
Vetiver-Algodón-Papel	VAP	95,0 ^d	97,3 ^e

La dosis de fibras utilizadas en la elaboración de las mezclas fue de 3.5 Mg.ha⁻¹, que según evaluaron Tejada y Rodríguez (1989), representa una alta cantidad para lograr un porcentaje de cobertura mayor a 90%. Estos valores fueron alcanzados por los tratamientos Vetiver-Algodón-Papel (VAP), Pino-Arroz-Papel (NRP), Algodón (A), Coco-Papel (CP), y la mezcla comercial (F), los

* Prueba de Medias de Duncan: Letras iguales en una misma columna representan un grupo estadístico homogéneo. $\alpha=0.05$.

cuales se caracterizaron por presentar en sus mezclas, alguna de las fibras de menor densidad como son el papel y el algodón, que tienden a homogeneizar la mezcla durante la elaboración.

Durante la elaboración de las mezclas, se notó que materiales como el papel y el algodón ayudan a que la mezcla obtenga una textura más viscosa y su aplicación sobre la superficie del sustrato sea más homogénea. Adicionalmente, estos materiales presentan valores mayores de contenido de Celulosa, y con un alto porcentaje de absorción de agua, lo que favorece su alto rendimiento y mejor distribución sobre la superficie del suelo.

Por el contrario, las mezclas con un solo tipo de fibra prácticamente precipitaban a los pocos segundos de dejar de agitarlas, y al aplicarlas se distribuía menos uniformemente sobre la superficie. Dichas fibras son muy dispersantes, y no homogeneizaban bien en la mezcla. Este fue el caso de las mezclas que contienen fibras más densas como el coco (C), el vetiver (V) y el bagazo de caña (B), que presentaron valores menores a 90% de cobertura.

Las mezclas con bagazo de caña y coco (BC) y el bagazo de caña solo (B) fueron los tratamientos que ofrecieron los valores más bajos de cobertura inicial de mezcla. Este comportamiento puede atribuirse al estado físico que se observó en la fibra del bagazo utilizado, ya que estaba muy pulverizado y degradado por estar almacenado durante un período mayor a un año. Sin embargo, no puede descartarse completamente su uso ya que, a pesar de esto, los promedios fueron mayores a 65%; en todos los casos se requeriría una dosis mayor para aumentar la cobertura.

En el análisis estadístico de la Varianza se obtuvieron diferencias significativas entre los tratamientos, por lo que se procedió a determinar esas diferencias con la prueba de Duncan, con un nivel de significancia de 0.05 (Ver Anexo 11); en el Cuadro 12 se ven reflejados los resultados obtenidos, y se puede observar que los tratamientos Coco-Papel (CP), Algodón (A), Pino-Arroz-Papel (NRP) y Vetiver-Algodón-Papel (VAP) son considerados como un grupo estadísticamente homogéneo, lo que comprueba su buen comportamiento en ofrecer una adecuada cobertura al suelo, obteniendo estos valores promedios por encima del tratamiento que representa al producto comercial (F).

Si se comparan los valores obtenidos de cobertura del suelo con la curva del subfactor C de la EUPS de Wischmeier y Smith (1978) el más bajo de 65% equivaldría a un C igual a 0,20; y el más alto de 97% a un C igual a 0,02, lo que representa una eficiencia relativa en el control de la erosión entre un 80% y 98% respectivamente.

Análisis comparativo de los métodos de estimación de cobertura Grilla y CobCal

Durante la estimación del porcentaje de cobertura alcanzado por las mezclas en cada tratamiento, se realizaron mediciones con la misma fotografía de cada bandeja en los dos métodos distintos. En la Figura 6 se observa un ejemplo del análisis hecho a la misma fotografía con las dos metodologías utilizadas.

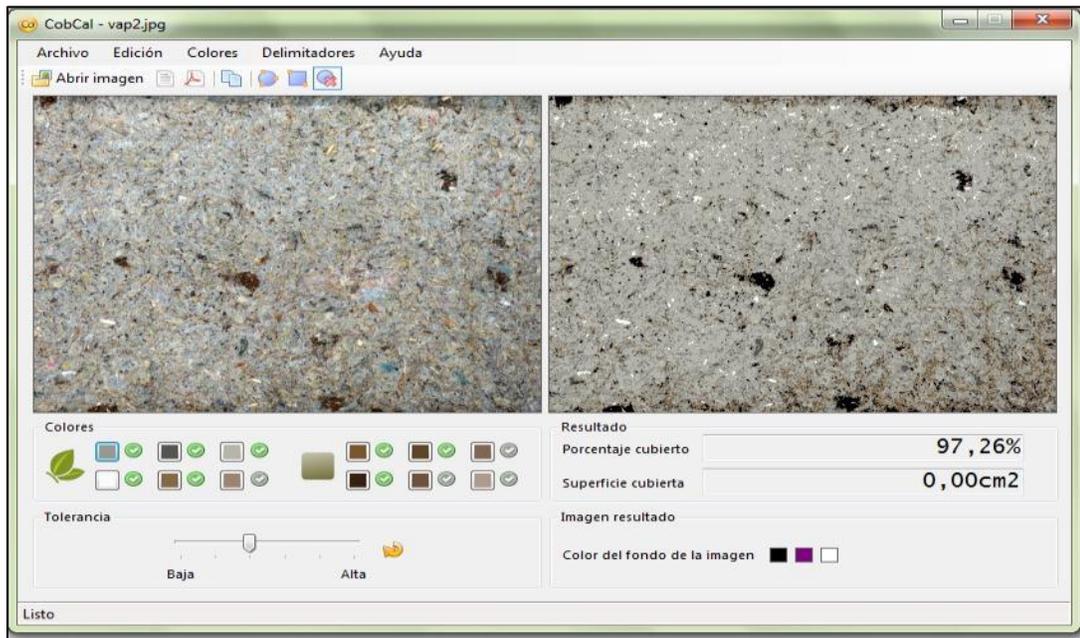
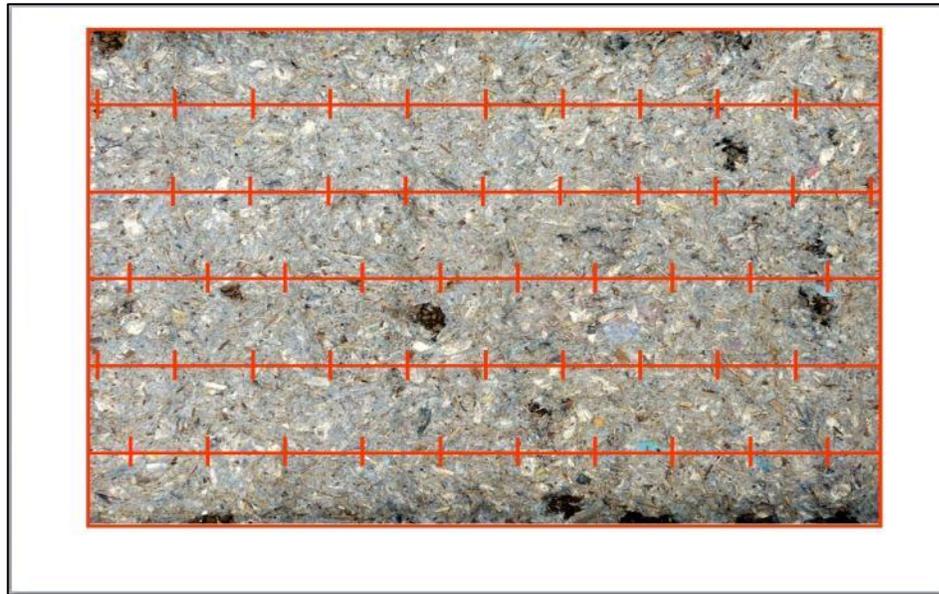


Figura 6. Análisis de cobertura de las mezclas con Grilla y con CobCal 2.1.

En el análisis comparativo de los resultados entre ambos métodos se obtuvieron valores semejantes para cada tratamiento. Por lo que se estimó su relación estadística, utilizando para ello el coeficiente de Correlación de Pearson. En este análisis se obtuvo un valor de $R=0.994$ con un nivel de significancia de 0,01, es decir existe una correlación bilateral altamente significativa entre los dos métodos. En el análisis de regresión lineal simple, asumiendo el intercepto igual a cero ($i=0$), se obtuvo un valor de pendiente muy cercana a uno ($m=1,01$), con un coeficiente de

determinación lineal (R^2) entre las dos metodologías de 0,988, por lo que se puede considerar que con ambos métodos de medición de cobertura se obtienen resultados semejantes.

Al momento de aplicar las metodologías se observaron varias diferencias importantes que influyen en la conveniencia de uso de algunas de ellas. En el Cuadro 13 se detallan algunas de las ventajas y desventajas en el uso de los dos métodos, según observaciones del investigador.

Cuadro 13. Ventajas y desventajas comparativas entre los métodos Grilla y CobCal.

	Ventajas	Desventajas
Medición con Grilla	<ul style="list-style-type: none"> • Rapidez en los resultados. • No requiere calibración. • Aplicable de forma directa en el campo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Influye mucho la experiencia y subjetividad del investigador al tomar la medición.
Medición con CobCal	<ul style="list-style-type: none"> • Resultados más precisos, menos subjetivos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere calibración, y en algunos casos ésta puede ser muy complicada. • Se utiliza más tiempo para obtener los resultados.

Las mediciones con el programa CobCal se dificultan cuando existe una variedad de colores en la fotografía que se está analizando, afectando así la medición, por lo que en estos casos se recomienda utilizar el método de la Grilla. Por su parte, la principal desventaja del método de la grilla tiene que ver con que sus resultados son aproximaciones porcentuales en base a 50 puntos de coincidencia, y por ende, sus resultados son menos precisos, que con el programa CobCal, el cual realizaba la estimación de cobertura tomando en cuenta toda la fotografía.

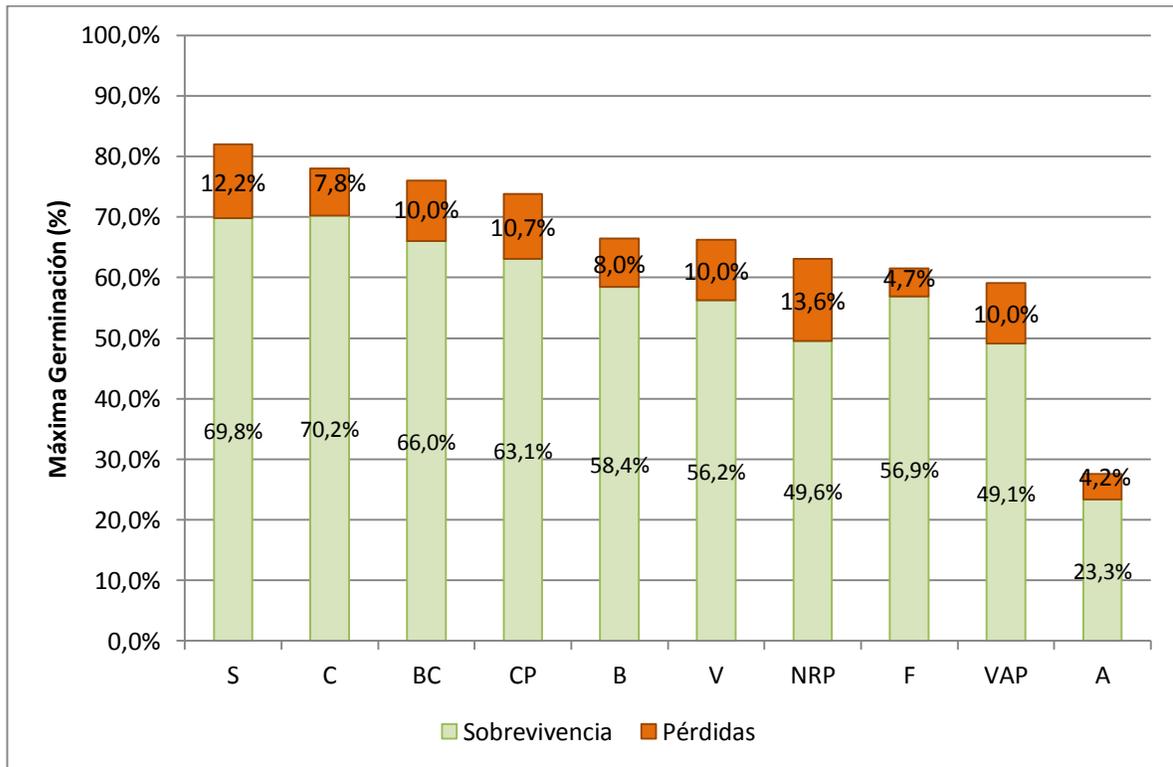
3. **Evaluación de las mezclas de hidrosiembra en el establecimiento de la vegetación.**

Como se describe en la metodología, la evaluación de las mezclas en el establecimiento de una vegetación se realizó tomando en consideración tres parámetros relacionados con el desarrollo vegetativo, estos son: Germinación/sobrevivencia de las plántulas, cobertura vegetal y

características biométricas de las plantas. A continuación se detallan los resultados obtenidos en cada uno de ellos.

3.1. Germinación y sobrevivencia de las plántulas.

Los valores máximos de germinación se alcanzaron con los tratamientos Sin fibras (S), Coco (C) y Bagazo de caña-Coco (BC), mostrando la poca intervención de estas mezclas en la interrupción de la germinación/emergencia de las plántulas; los mínimos se presentaron con los tratamientos Flexterra® (F), Vetiver-Algodón-Papel (VAP) y Algodón (A) (Ver Figura 7 y Anexo 12). Esto nos indica que las fibras pueden interferir en la germinación y/o emergencia de las plántulas, debido a la obstrucción física que originan en la superficie.



* Leyenda de Tratamientos: A: algodón; B: Bagazo de caña; BC: bagazo-coco; C: coco; CP: coco-papel; F: Flexterra®; NRP: pino-arroz-papel; S: mezcla sin fibras; ST: sin mezcla, V: vetiver; VAP: vetiver-algodón-papel.

Figura 7. Promedios de máximos de germinación, sobrevivencia y de pérdidas de plántulas en cada tratamiento.

El tratamiento testigo sin ningún tipo de fibras (S), obtuvo un 82% de plántulas germinadas, siendo el valor más alto de todos los tratamientos, debido a la nula interferencia de fibras en la mezcla de hidrosiembra agregada en la emergencia de los brotes. Este valor estuvo muy cercano al porcentaje de viabilidad indicado por la empresa productora de la semilla (MARANGATÚ, 81%). Los tratamientos Coco (C, 78%), Bagazo de caña-Coco (BC, 76%) y Coco-Papel (CP, 74%) también mostraron valores altos de germinación de plántulas, lo que revela su buen comportamiento como tratamientos adecuados para su uso como mezclas para germinación. En la literatura científica existen evidencias de que el coco cumple con propiedades adecuadas para ser un sustrato ideal, y su retención de agua es alta debido a la presencia de poros muy finos, haciéndola disponible para las semillas por más tiempo (Patrón y Pineda, 2010).

En situación opuesta se encuentra los tratamientos Algodón (A, 28%) y Vetiver-Algodón-Papel (VAP, 59%), que obtuvieron los valores más bajos en cuanto a germinación de las plántulas; esto puede estar relacionado con que son mezclas con altos contenidos de fibras poco densas como el algodón y papel, que forman una capa muy rígida que obstruye físicamente la germinación y/o emergencia de las semillas.

En cuanto a la sobrevivencia de las plántulas, existe la misma tendencia que con los máximos de germinación. En general, se registró un promedio de mortalidad de plántulas del 9%. Éstas pueden explicarse por factores como la competencia por los recursos en un espacio reducido, afectaciones por algunos insectos plaga (principalmente cortadores), y por problemas con el sistema de riego en algunas etapas del ensayo.

Las menores tasas de pérdidas de plántulas se registraron en los tratamientos Algodón (4%) y Flexterra (5%). las mayores se presentaron en Pino-Arroz-Papel (14%) y el tratamiento sin fibras (S, 12%).

Es de hacer notar que algunos tratamientos que obtuvieron mayores valores de germinación, como el tratamiento testigo S y Bagazo-Coco (BC), coincidieron a su vez con los mayores porcentajes de pérdidas, y de forma inversa, algunos de los tratamientos que presentaron

menores valores de germinación, tales como Flexterra y Algodón, presentaron menores tasas de pérdidas de plántulas. Esto puede deberse a que los tratamientos con altos porcentajes de germinación, generan una alta competencia por los recursos, y las plántulas menos aptas no sobreviven a las condiciones del ensayo. A su vez, los tratamientos con un bajo porcentaje de germinación provocan que exista poca competencia por los recursos y una tasa mayor de sobrevivencia. Sin embargo, este análisis no es concluyente porque se presentaron casos como el del Coco y Vetiver-Algodón-Papel (VAP) en los cuales no se cumplió esta tendencia.

Al analizar estadísticamente los datos con la prueba de ANOVA, se determinaron diferencias significativas entre los tratamientos (Ver Anexo 13). En el Cuadro 14 se observan los promedios del número de plantas vivas para cada tratamiento a lo largo del ensayo.

Cuadro 14. Número de plantas vivas y máxima germinación registrada para cada tratamiento durante el ensayo*.

Tratamiento	Código	Días después de la siembra					Sobrevivencia 56 días	Máxima Germinación
		8	16	24	31	40		
Algodón	A	32,7 ^a	38,7 ^a	37,3 ^a	34,3 ^a	35,7 ^a	35,0 ^a	41,3 ^a
Vetiver-Algodón-Papel	VAP	80,7 ^b	88,0 ^b	80,3 ^b	80,3 ^b	78,0 ^b	73,7 ^b	88,7 ^b
Flexterra®	F	88,7 ^{bc}	91,3 ^{bc}	86,7 ^{bc}	88,7 ^{bc}	88,3 ^{bc}	85,3 ^{bc}	92,3 ^{bc}
Pino-Arroz-Papel	NRP	78,7 ^b	84,7 ^b	90,0 ^{bc}	93,0 ^{bcd}	90,7 ^{bc}	74,3 ^b	94,7 ^{bcd}
Vetiver	V	91,7 ^{bc}	99,3 ^{bcd}	90,0 ^{bc}	92,0 ^{bcd}	91,0 ^{bc}	84,3 ^{bc}	99,3 ^{bcd}
Bagazo de caña	B	38,3 ^a	95,3 ^{bcd}	92,7 ^{bcd}	94,7 ^{bcd}	96,0 ^{cd}	87,7 ^{bc}	99,7 ^{bcd}
Coco-Papel	CP	106,3 ^{bc}	107,3 ^{bcd}	108,0 ^{cd}	107,3 ^{def}	103,7 ^{bcd}	94,7 ^{bc}	110,7 ^{cdef}
Bagazo de caña-Coco	BC	94,0 ^{bc}	113,7 ^{cde}	106,3 ^{cd}	101,3 ^{cde}	100,0 ^{bcd}	99,0 ^c	114,0 ^{def}
Coco	C	95 ^{bc}	116,3 ^{de}	115,3 ^d	112,0 ^{ef}	112,3 ^d	105,3 ^c	117,0 ^{ef}
Sin fibras	S	113,0 ^c	119,3 ^e	115,3 ^d	118,3 ^f	109,0 ^{cd}	104,7 ^c	123,0 ^f

Se observa que el tratamiento Algodón (A) fue el que presentó diferencias significativas con respecto a los demás tratamientos, con máximos de germinación de 41 plántulas, aproximadamente 28% de germinación y 23% de sobrevivencia a los 56 días después de la siembra. Al comparar los resultados de sobrevivencia de los distintos tratamientos con el producto comercial (F), no se observaron diferencias significativas en ninguno, a excepción del algodón. Esto nos indica que todos los demás tratamientos evaluados presentan un

* Prueba de medias de Duncan: Letras iguales en una misma columna representan un grupo estadísticamente homogéneo. Nivel de significancia: 0.05.

comportamiento similar al producto comercial, en cuanto a favorecer la germinación y por consiguiente el establecimiento de una vegetación.

También se puede observar que a medida que transcurre el tiempo se disminuyen las diferencias entre los tratamientos, ya que en los primeros 31 días se formaron hasta seis grupos estadísticos diferentes, pero a los 56 días se redujeron a tres grupos solamente, es decir, el número de plántulas vivas tienden a estabilizarse a un mismo promedio. Esto nos indica que las principales diferencias entre los tratamientos tienen que ver con la rapidez en alcanzar su máxima germinación y no tanto en los valores de sobrevivencia de plántulas. Existen varios trabajos que indican que la hidrosiembra favorece el crecimiento vegetativo en los primeros meses al retener la humedad más fácilmente que el suelo no hidrosechado, pero su efecto tiende a disminuir con el tiempo, hasta que las diferencias con zonas no hidrosiembradas sean poco significativas (Debats *et al.*, 2007; González y Martínez, 2007; Martínez y Fernández, 2001).

En la Figura 8 se observa que los tratamientos Sin fibras (S), Coco-Papel (CP), Vetiver (V), Coco (C) Y Bagazo de caña-Coco (BC) alcanzaron más rápidamente el nº de plántulas vivas, con promedios mayores a 60% (más de 90 plántulas germinadas), a los 8 días. El resto llegó a su máximo de germinación entre la 2^{da} y 3^{ra} semana, a excepción de los tratamientos Pino-Arroz-Papel (4^{ta} semana) y Bagazo de caña (5^{ta} semana) siendo este último el que más tarde en alcanzarlo. En la literatura se ha descrito la inconveniencia del uso del pino y del bagazo de caña como sustrato debido a la presencia de fenoles que afectan la germinación y crecimiento de las plántulas (Patrón y Pineda, 2010). Sin embargo, para efectos de este experimento no se puede inferir una interferencia muy marcada, sino una ligera afectación inicial, ya que las diferencias encontradas con respecto a los otros tratamientos no son estadísticamente significativas.

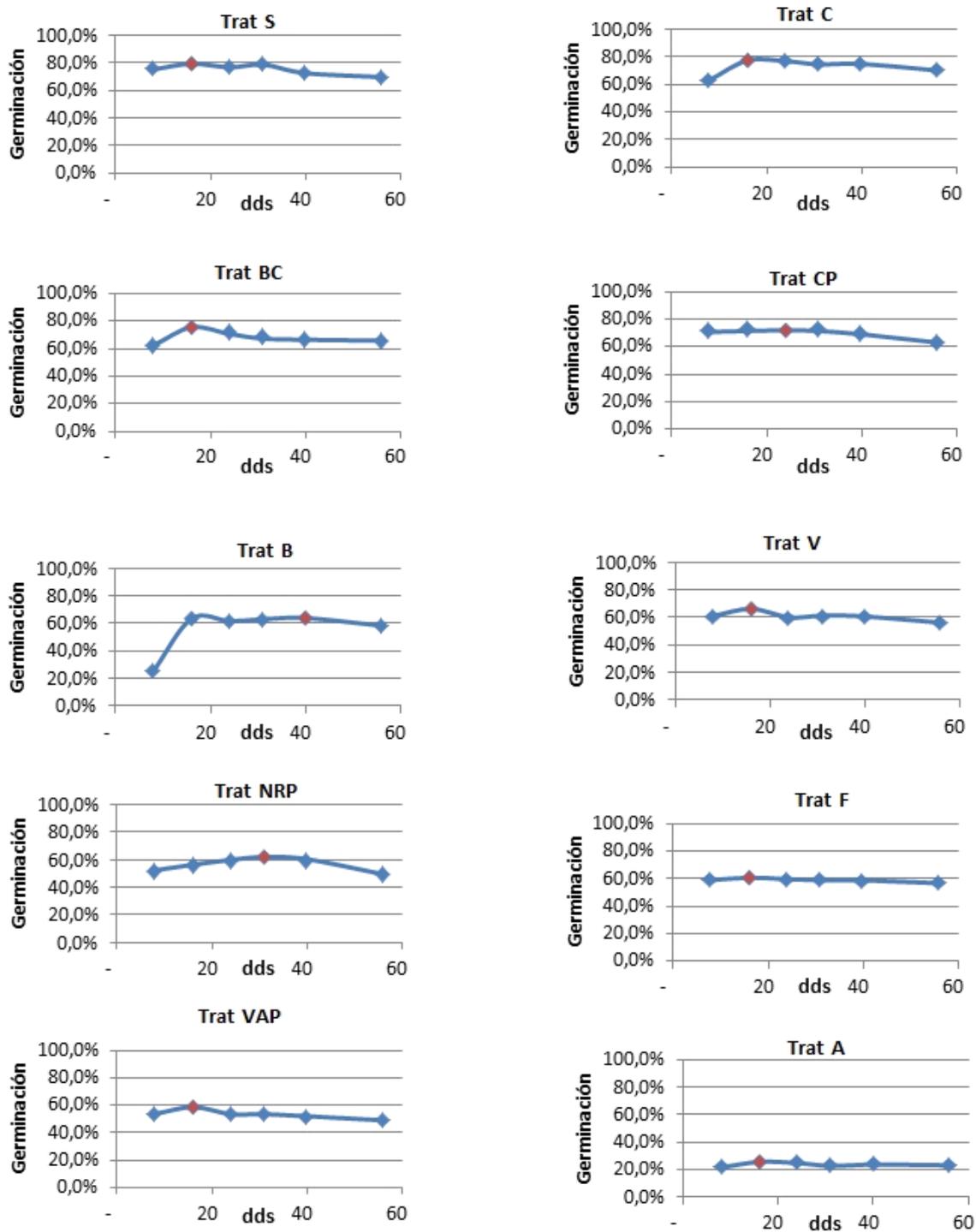


Figura 8. Porcentaje de plántulas germinadas durante varias etapas del ensayo para cada tratamiento*.

* Puntos rojos indican máximos de germinación. Visible en pantalla o en impresión a color.

Todos estos datos nos indican que el comportamiento de las fibras utilizadas en las mezclas con fines de hidrosiembra, a excepción de las que contienen altas dosis de algodón y/o papel, son adecuadas ya que no afectan de forma negativa la germinación y/o emergencia de las semillas y por consiguiente el número de plántulas que se necesitan para formar una cobertura vegetal adecuada sobre el suelo.

3.2. Cobertura de la vegetación

Los datos de cobertura vegetal, obtenidos por medio del análisis fotográfico con el programa informático CobCal, se consideran más precisos en sus mediciones, por lo que fueron seleccionados para la evaluación de la cobertura vegetal. En el Cuadro 15 se detallan los promedios obtenidos de cobertura de vegetación para cada tratamiento, calculados fotográficamente con el programa CobCal 2.1.

Cuadro 15. Cobertura de la vegetación (%) alcanzada por cada tratamiento en varios periodos de medición.

Tratamientos	Código	Días después de la siembra							
		8	11	16	24	32	40	50	56
Algodón	A	1,9	5,3	15,6	25,3	38,3	55,3	67,6	67,0
Bagazo de caña	B	1,7	4,1	12,7	30,8	61,8	69,2	74,6	72,6
Bagazo de caña-Coco	BC	5,7	14,1	34,9	59,3	68,2	73,0	79,9	71,5
Coco	C	7,8	11,8	29,5	54,1	73,4	82,1	84,0	79,6
Coco-Papel	CP	9,0	20,7	38,2	59,7	68,0	72,7	80,5	74,9
Flexterra®	F	7,4	17,7	33,8	55,5	63,3	74,7	76,9	74,8
Pino-Arroz-Papel	NRP	5,5	12,4	27,1	50,3	58,9	64,1	66,8	68,6
Sin fibras	S	8,3	19,6	38,2	62,1	72,7	78,4	81,6	80,7
Vetiver	V	5,6	14,5	36,4	61,7	70,3	77,3	81,3	80,4
Vetiver-Algodón-Papel	VAP	5,5	16,1	32,7	49,9	62,5	68,2	69,7	69,8

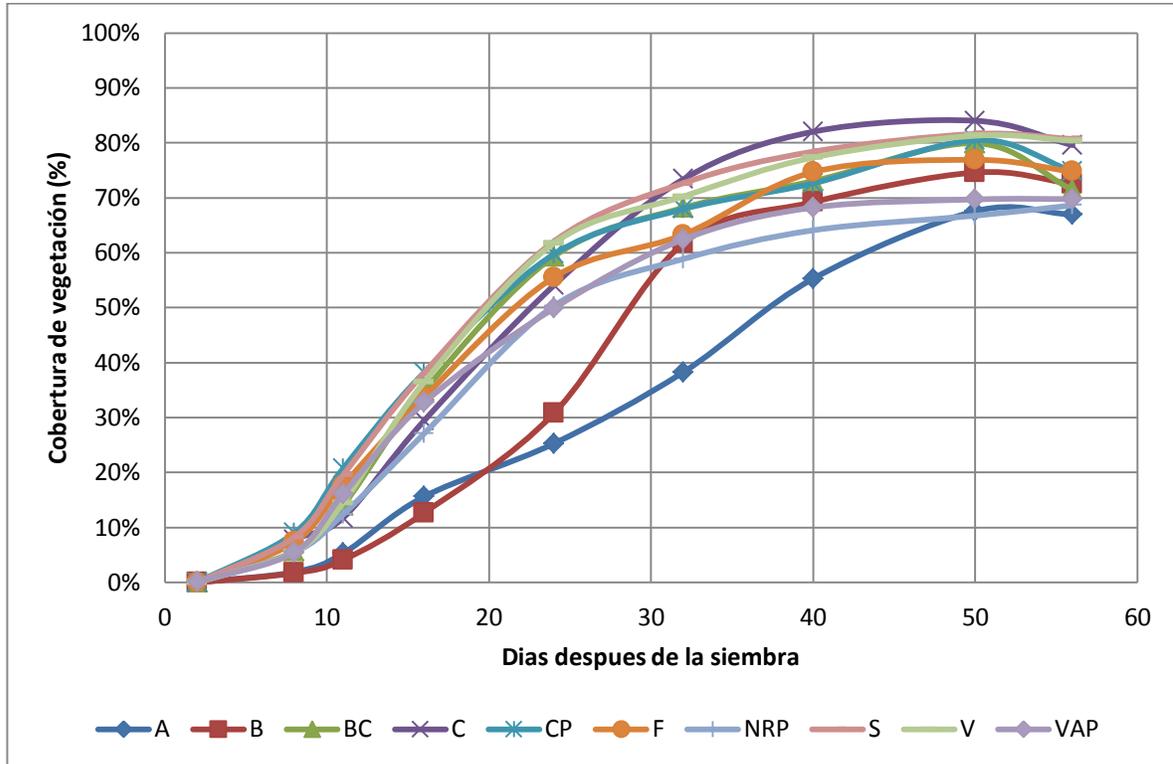
Durante la primera semana, todos los tratamientos presentaron valores de cobertura de vegetación menores a 10%, resaltando a los tratamientos Coco-Papel (CP) y Sin fibras (S) los cuales alcanzaron los mayores valores de cobertura (>8%). Por su parte, los tratamientos Algodón (A) y Bagazo de caña (B) los cuales obtuvieron los valores menores a 2%.

A los 16 días, tratamientos como el Bagazo de caña-Coco, Coco-Papel, Flexterra®, Sin fibras (S), Vetiver (V) y Vetiver-algodón-papel (VAP), presentaron valores de cobertura vegetal mayores a 30% (Subfactor $C=0,5$), lo que indica su rapidez en formar una vegetación que proteja el suelo en el menor tiempo posible. Se hace notar la presencia en este grupo de los tratamientos y F que corresponden al tratamiento sin fibra y al tratamiento con el producto comercial respectivamente, lo que indica que los tratamientos mencionados ofrecieron una cobertura adecuada durante las dos primeras semanas. Caso contrario se presenta con los tratamientos Bagazo de caña (B) y Algodón (A), quienes siguen la tendencia de la primera semana de ofrecer bajo porcentaje de cobertura. Esto puede explicarse debido al bajo porcentaje de germinación observado precisamente en estos dos tratamientos.

A los 32 días, todos los tratamientos presentaron promedios de cobertura vegetal mayores a 55% (Subfactor $C= 0,25$), incluyendo el Coco (C), quien para este tiempo ofreció valores mayores a 73%. Para esta fecha el único tratamiento rezagado fue el Algodón (A), con valores menores a 40% de cobertura del dosel.

Ya a los 56 días, la mayoría de los tratamientos ofrecieron promedios de cobertura vegetal mayores a 70% (Subfactor $C= 0,15$), exceptuando los tratamientos Algodón (A), Pino-Arroz-Papel (NRP) Y Vetiver-Algodón-Papel (VAP). Esto nos indica la tendencia hacia la normalización de los porcentajes de cobertura, es decir, la cobertura vegetal de todos los tratamientos tienden a estabilizarse hacia un promedio.

El comportamiento que manifestó la cobertura de vegetación a lo largo del tiempo fue una curva sigmoidea en todos los tratamientos, que es característica del crecimiento de las plantas. En la Figura 9 se detalla que los únicos que mostraron divergencias fueron el tratamiento con Algodón (A) que tuvo una curva menos pronunciada a lo largo de los días que el resto de las mezclas; y el tratamiento con Bagazo (B) en el cual se observa un retraso del crecimiento de la vegetación durante las primeras tres semanas del ensayo, pero que posteriormente se niveló con el resto de los tratamientos.



Leyenda de Tratamientos: A: algodón; B: Bagazo de caña; BC: bagazo-coco; C: coco; CP: coco-papel; F: Flexterra®; NRP: pino-arroz-papel; S: mezcla sin fibras; ST: sin mezcla, V: vetiver; VAP: vetiver-algodón-papel.

Figura 9. Cobertura alcanzada por la vegetación (%) en cada tratamiento con respecto al tiempo.

Los promedios de cobertura vegetal superaron el 60% (Subfactor C= 0,22) a los 30 días después de la siembra en prácticamente todos los tratamientos, a excepción del Algodón (A). Esto nos indica que en las mezclas utilizadas ofrecen porcentajes de cobertura de vegetación semejantes en la medida que se acumula el tiempo de evolución. Los valores tienen a estabilizarse a partir de los 40 días después de la siembra, hasta alcanzar promedios máximos entre 65% y 85% en todos los casos. Esto puede deberse a que existía una alta población de semillas y la competencia por los recursos se amplifica a medida que pasa el tiempo, provocando una estabilización de la población en todos los tratamientos.

En el gráfico anterior, se distingue una marcada diferencia de las mezclas Algodón (A) y Bagazo de caña (B) con respecto a los demás tratamientos. Como fue señalado anteriormente, este comportamiento estaría relacionado con la germinación y/o emergencia de las plántulas. El tratamiento Algodón (A) forma una costra que dificultaría la emergencia de las plántulas.

Se evaluaron estadísticamente los datos de cobertura de la vegetación, verificando primeramente que cumplieran los fundamentos de Normalidad de los datos y homogeneidad de la varianza, utilizando el Método de Shapiro-Wilk y el estadístico de Levene respectivamente (Ver Anexo 15). Las observaciones que cumplieron estos supuestos fueron las que correspondían a las mediciones realizadas a los 11, 40 y 56 días. Sin embargo, la prueba del ANOVA es lo suficientemente robusta para evaluar los datos en las demás mediciones debido a que estas fueron realizadas por un mismo observador y en una misma hora. Por lo que se procedió a determinar si existían diferencias significativas entre todos los tratamientos, con el ANOVA y la prueba de Medias de Duncan.

En el Cuadro 16 se observan los valores promedios de cobertura obtenidos en los tratamientos a lo largo del ensayo, medidos semanalmente, a través del análisis fotográfico con el programa informático CobCal 2.1. En el Anexo 14 se detallan los datos completos medidos en el invernadero.

Cuadro 16. Cobertura de la vegetación (%) en los tratamientos durante el ensayo* .

Tratamientos	Código	Días después de la siembra			
		11	30	40	56
Algodón	A	5,30 ^{ab}	38,29 ^a	55,30 ^a	66,97 ^a
Pino-Arroz-Papel	NRP	12,39 ^{bcd}	58,89 ^b	64,10 ^{ab}	68,64 ^{ab}
Vetiver-Algodón-Papel	VAP	16,06 ^{cd}	62,46 ^{bc}	68,24 ^{bc}	69,78 ^{ab}
Bagazo de caña-Coco	BC	14,06 ^{cd}	68,20 ^{bc}	73,04 ^{bcd}	71,47 ^{ab}
Bagazo de caña	B	04,11 ^a	61,76 ^{bc}	69,24 ^{bcd}	72,57 ^{ab}
Flexterra®	F	17,68 ^{cd}	63,31 ^{bc}	74,69 ^{bcd}	74,79 ^{ab}
Coco-Papel	CP	20,75 ^d	67,98 ^{bc}	72,65 ^{bcd}	74,87 ^{ab}
Coco	C	11,77 ^{ab}	73,41 ^c	82,05 ^d	79,60 ^b
Vetiver	V	14,51 ^{cd}	70,26 ^{bc}	77,34 ^{bcd}	80,40 ^b
Sin fibras	S	19,55 ^{cd}	72,69 ^{bc}	78,42 ^{cd}	80,72 ^b

A los 11 días, se presentaron diferencias significativas en los tratamientos Algodón (A), Bagazo de caña (B) y Coco (C), con respecto a los tratamientos testigos de este ensayo, Sin fibras (S) y Flexterra® (F), lo que indicaría algún tipo de interferencia en el crecimiento vegetativo. A los 30 días, sólo el tratamiento Algodón (A), mostró valores promedios de cobertura por debajo de los

* Prueba de medias de Duncan: Letras iguales en una misma columna representan un grupo estadísticamente homogéneo. Nivel de significancia: 0.05.

testigos. Por su parte, el Coco (C) empezó a marcar diferencia con respecto al resto de los tratamientos, obteniéndose un promedio de cobertura de la vegetación mayor al 73%.

A los 40 días, los tratamientos Algodón (A) y Pino-Arroz-Papel (NRP) mostraron valores significativamente menores a los testigos Sin fibras (S) y Flexterra® (F). A los 56 días, las diferencias estadísticas se presentan con los tratamientos Coco (C), Vetiver (V) y Sin fibras (S) con respecto al tratamiento Algodón (A), pero se forman sólo dos grupos estadístico, comparados con los cuatro grupos existentes a los 11 días. Esto nos confirma la tendencia mencionada anteriormente de que la cobertura de la vegetación de todos los tratamientos tiende hacia una estabilización.

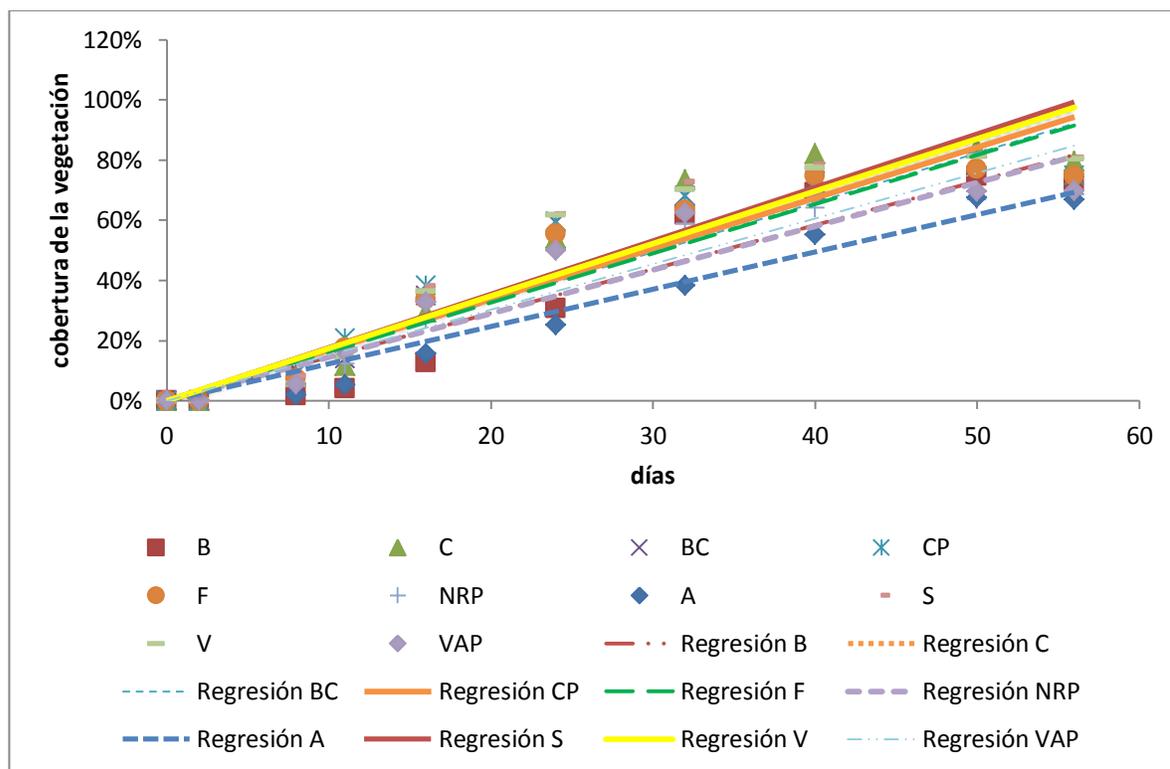
Entendiendo el comportamiento sigmoideal de la cobertura vegetal a través del tiempo, ya explicado anteriormente, se intentó simplificar la información a fin de obtener una visión comparativa y general de la variable mencionada. Para ello se calcularon las curvas de regresión lineal de la cobertura alcanzada por la vegetación para todos los tratamientos en función del tiempo, obteniéndose los datos detallados en el Cuadro 17 y en la Figura 10. Se asumieron valores del intercepto igual a cero, debido a que la cobertura vegetal al inicio del ensayo era nula.

Cuadro 17. Análisis de regresión lineal de la cobertura vegetal alcanzada por los tratamientos en función del tiempo.

Tratamiento	Pendiente (CV%.día ⁻¹)	R ²
Sin fibras	0,0177	0,8870
Coco	0,0175	0,9099
Vetiver	0,0174	0,8944
Coco-Papel	0,0169	0,8794
Bagazo de caña-Coco	0,0165	0,8713
Flexterra®	0,0164	0,9062
Vetiver-Algodón-Papel	0,0152	0,8983
Bagazo de caña	0,0146	0,9174
Pino-Arroz-Papel	0,0145	0,9091
Algodón	0,0124	0,9636

El tratamiento sin ningún tipo de fibras (S) presentó la mayor tasa de crecimiento diario, seguido de cerca por los tratamientos con Coco (C) y Vetiver (V), coincidiendo esto con ser los

tratamientos que alcanzaron la mayor cobertura vegetal al final del ensayo. Caso contrario se presentó con los tratamientos Bagazo de caña (B), Pino-Arroz-Papel (NRP) y Algodón (A) cuyas pendientes indican un crecimiento vegetativo más lento y por consiguiente una menor cobertura vegetal al final del ensayo.



Leyenda de Tratamientos: A: algodón; B: Bagazo de caña; BC: bagazo-coco; C: coco; CP: coco-papel; F: Flexterra®; NRP: pino-arroz-papel; S: mezcla sin fibras; ST: sin mezcla, V: vetiver; VAP: vetiver-algodón-papel.

Figura 10. Análisis de Regresión lineal de la cobertura vegetal (%) a lo largo del ensayo.

En general, se puede decir que durante el periodo evaluado, todos los tratamientos presentaron una buena cobertura vegetal a excepción del Algodón (A) y el Bagazo de caña de azúcar (B) durante las primeras semanas, y que la forma de la curva en todos los tratamientos indica su tendencia hacia la estabilización de la vegetación en un valor promedio a medida que transcurre el tiempo.

3.3. Caracterización biométrica de la vegetación

Como se describe en la metodología, se tomaron en cuenta tres variables que permitieran caracterizar biométricamente la vegetación obtenida. A continuación se detallan los resultados obtenidos para cada una de ellas.

3.3.1. Número de hojas producidas por las plántulas:

En el Cuadro 18, se detallan el promedio obtenido del número de hojas en cinco plantas seleccionadas por bandeja.

Cuadro 18. Número de hojas producidas en cada tratamiento durante el tiempo.

Tratamiento	Código	Días					
		11	16	24	31	40	56
Algodón	A	2,2	3,1	4,5	5,3	5,2	5,3
Bagazo de caña	B	2,0	3,0	3,9	4,8	5,2	4,5
Bagazo de caña-Coco	BC	2,1	3,1	4,2	4,1	4,3	3,9
Coco	C	2,0	2,9	4,0	4,7	4,7	4,1
Coco-Papel	CP	2,4	3,2	4,1	4,4	4,5	4,0
Flexterra®	F	2,7	3,4	4,4	4,5	4,5	4,1
Pino-Arroz-Papel	NRP	2,3	2,9	3,9	4,1	4,2	4,0
Sin fibras	S	2,3	3,1	4,2	4,3	4,0	4,0
Vetiver	V	2,2	3,3	4,5	4,7	4,5	4,1
Vetiver-Algodón-Papel	VAP	2,2	3,3	4,2	4,8	4,7	4,3

El promedio de hojas muestra una tendencia homogénea. Este es un criterio relacionado con el desarrollo individual de las plántulas. Durante la primera semana, el FlexTerra® (F) fue el que obtuvo el N° de hojas promedio más alto. A su vez, el tratamiento con Algodón (A) fue el que presentó valores más alto en cuanto a número de hojas por plántula, lo que tiene que ver con que las pocas plántulas no tenían casi competencia entre ellas, comparadas con los otros tratamientos donde la densidad poblacional fue mayor.

Para el análisis estadístico, se observó que no se cumplían los supuestos para realizar la prueba del ANOVA, por lo que se procedió a estimar si existían diferencias significativas entre los tratamientos utilizando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis de muestras

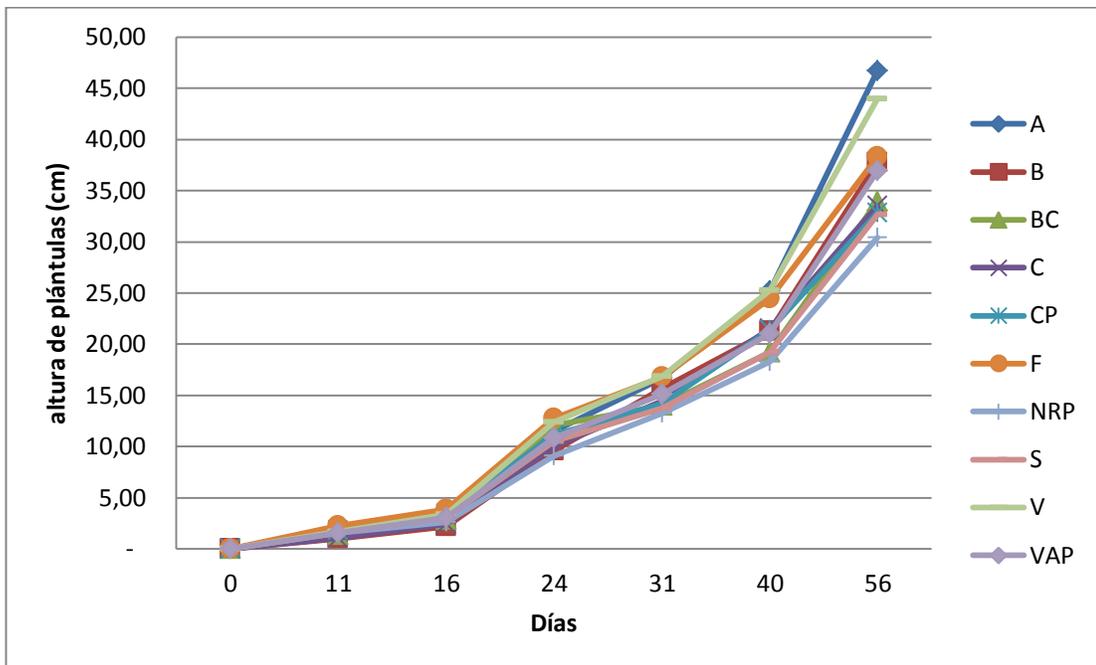
independientes, indicando esto que el número de hojas por plántulas es homogéneo entre los tratamientos durante el desarrollo de experimento (Ver Anexo 19).

Esto nos indica que el desarrollo individual de las plántulas no fue afectado de forma diferencial, es decir, una vez germinada la semilla, cada plántula siguió su desarrollo natural sin que el tratamiento afectara directamente su crecimiento.

Sin embargo, es de hacer notar por parte del investigador que en los tratamientos donde existió una menor densidad poblacional, las hojas tenían mayor tamaño que aquellas bandejas donde el número de plántulas fue más grande. No obstante, estas características no se midieron por no formar parte de los objetivos planteados.

3.3.2. Altura alcanzada por las plántulas

Este criterio de análisis sobre el establecimiento vegetativo, está relacionado con el desarrollo individual de las plántulas, y nos indica cualquier afectación en alguna etapa del desarrollo, que provoca un retraso en el crecimiento de las mismas y un rezago con respecto a tratamientos. En la Figura 11 se observa la tendencia de crecimiento de las plantas en todos los tratamientos a lo largo del tiempo.



* Leyenda de Tratamientos: A: algodón; B: Bagazo de caña; BC: bagazo-coco; C: coco; CP: coco-papel; F: Flexterra®; NRP: pino-arroz-papel; S: mezcla sin fibras; ST: sin mezcla, V: vetiver; VAP: vetiver-algodón-papel.

Figura 11. Altura promedio alcanzada por las plántulas para cada tratamiento durante el ensayo.

En los estados iniciales, el promedio de altura de las plántulas no mostró diferencias importantes. A partir de los 31 días se empezaron a notar diferencias entre los tratamientos con algodón (A) y con vetiver (V) respecto al resto. El tratamiento Pino-Arroz-Papel (NRP) fue el que obtuvo valores menores en altura promedio de plántulas.

El análisis de los datos con la prueba del ANOVA, y la comparación de medias de Duncan se puede detallar en el Cuadro 19, donde se observa que no existió ninguna diferencia significativa con el tratamiento testigo Sin fibras (S) en ninguno de las observaciones medidas. Al comparar los tratamientos con el producto comercial (F), se observaron diferencias solamente en la segunda semana con el Bagazo de caña, el Pino-Arroz-Papel y el Algodón. Pero a partir de allí, los valores el crecimiento de las plántulas se mantuvo semejante en todos los tratamientos.

Cuadro 19. Altura promedio de las plántulas en cada tratamiento durante el tiempo* .

Tratamiento	Código	Días después de la siembra				
		16	24	31	40	56
Pino-Arroz-Papel	NRP	2,7 ^{ab}	9,1 ^a	13,3 ^a	18,3 ^a	30,4 ^a
Sin fibras	S	3,1 ^{abc}	10,5 ^a	13,7 ^a	19,3 ^{ab}	32,6 ^{ab}
Coco-Papel	CP	3,4 ^{bc}	11,2 ^a	14,2 ^a	21,4 ^{ab}	32,8 ^{ab}
Coco	C	2,4 ^{ab}	10,0 ^a	14,5 ^a	21,5 ^{ab}	33,5 ^{ab}
Bagazo de caña-Coco	BC	2,9 ^{abc}	12,1 ^a	14,0 ^a	19,2 ^{ab}	33,9 ^{ab}
Vetiver-Algodón-Papel	VAP	3,1 ^{abc}	10,8 ^a	15,1 ^a	21,0 ^{ab}	36,9 ^{abc}
Bagazo de caña	B	2,2 ^a	9,6 ^a	15,7 ^a	21,3 ^{ab}	37,8 ^{abc}
Flexterra®	F	3,9 ^c	12,8 ^a	16,8 ^a	24,4 ^{ab}	38,3 ^{ab}
Vetiver	V	3,4 ^{bc}	12,4 ^a	16,8 ^a	25,2 ^b	43,9 ^{bc}
Algodón	A	2,6 ^{ab}	11,5 ^a	16,7 ^a	25,2 ^b	46,7 ^c

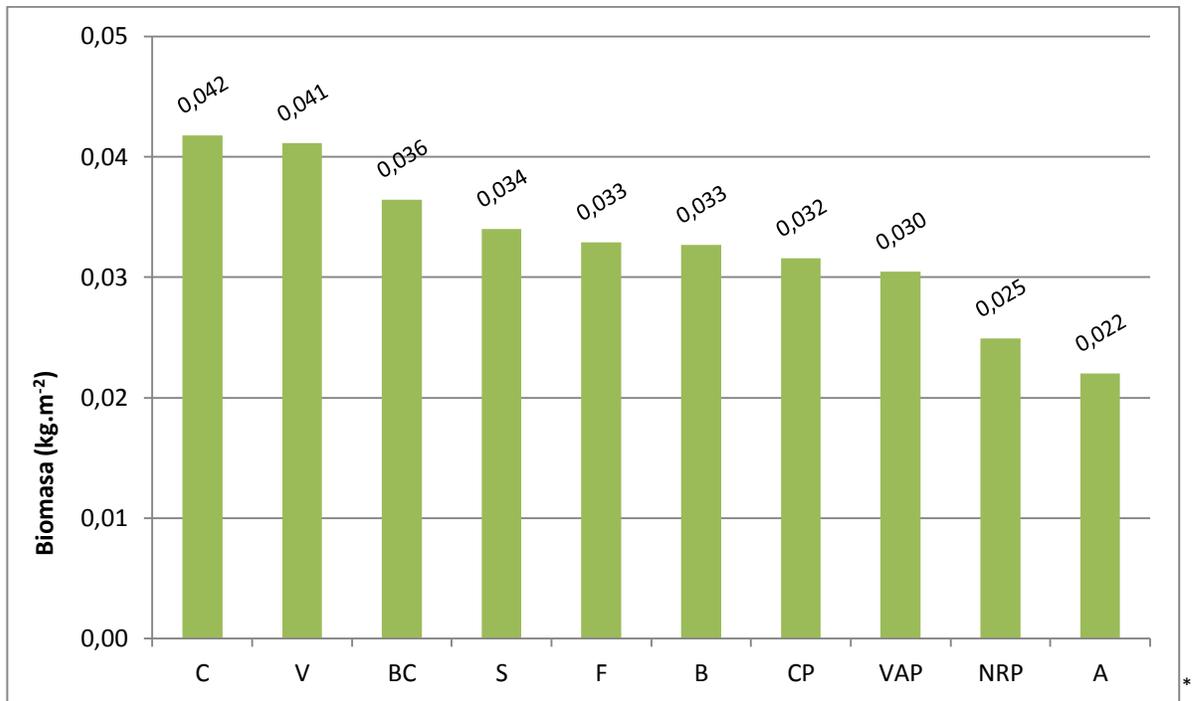
Sólo a los 56 días después de la siembra, el tratamiento con Algodón (A) se distanció de los demás; este comportamiento es atribuible a la poca densidad poblacional que presentaban estas bandejas y que a su vez favorecía el aprovechamiento del agua y de los nutrientes por parte de las plantas.

3.3.3. Producción de biomasa aérea:

La producción de biomasa aérea permite evaluar el desarrollo vegetal obtenido en cada tratamiento y observar si existen algún tipo de influencia o interferencia en el desarrollo vegetativo. En la Figura 12, se observa que los tratamientos C, V y BC obtuvieron los mayores valores de producción de biomasa aérea, por encima inclusive de los tratamientos testigo (S y F). Caso contrario se manifestó con los tratamientos que contienen algodón y papel, los cuales presentaron una menor producción de materia seca por unidad de superficie de todo el ensayo. Este comportamiento puede inferirse debido principalmente a la tasa de germinación/emergencia de plántulas, ya que los tratamientos con mayor número de plántulas vivas generan mayor cantidad de biomasa fresca y seca. Cabe mencionar que la producción de

* Prueba de medias de Duncan: Letras iguales en una misma columna representan un grupo estadísticamente homogéneo. Nivel de significancia: 0.05.

biomasa también podría relacionarse con los aportes de materia orgánica y con la cobertura de residuos en superficie; ambos factores contribuyen a la estabilidad del sistema a largo plazo.



* Leyenda de Tratamientos: A: algodón; B: Bagazo de caña; BC: bagazo-coco; C: coco; CP: coco-papel; F: Flexterra®; NRP: pino-arroz-papel; S: mezcla sin fibras; ST: sin mezcla, V: vetiver; VAP: vetiver-algodón-papel.

Figura 12. Biomasa aérea producida por los tratamientos a las 16 semanas.

Sin embargo, el análisis estadístico de los datos con la prueba ANOVA de un factor, demostró que no existen diferencias significativas en la producción de biomasa aérea entre los tratamientos evaluados (ver Anexo 21). Esto nos muestra la tendencia de los distintos tratamientos a estabilizar sus valores hacia un promedio general, característica también observada en otras variables medidas anteriormente como la cobertura vegetal y la altura de las plántulas.

Es de hacer notar que la medición de biomasa fue realizada una sola vez y al final del ensayo, cuando ya los tratamientos presentaron una cobertura vegetal semejante. No obstante, la estimación de la biomasa debe realizarse en varias etapas del ensayo para evaluar el comportamiento de esta variable a través del tiempo; sin embargo, por ser una medición que

destruye el material vegetal, se han intentado ecuaciones de regresión que permitan estimar la biomasa basándose en otras características biométricas como la cobertura vegetal, el número de plantas, la altura de las plantas, entre otros. A continuación se detallan ecuaciones de regresión que podrían indicar la existencia de estas relaciones.

En la Figura 13 se puede observar que existe una correlación lineal del 65% entre la materia seca y el porcentaje de cobertura vegetal alcanzado al final del período de evaluación. Es decir, a mayor cobertura vegetal, mayor producción de materia seca, y por consiguiente mayor producción de biomasa. Esto puede tener una utilidad práctica ya que se puede utilizar el porcentaje de cobertura vegetal para estimar la cantidad de biomasa producida por la vegetación hidrosembrada y viceversa.

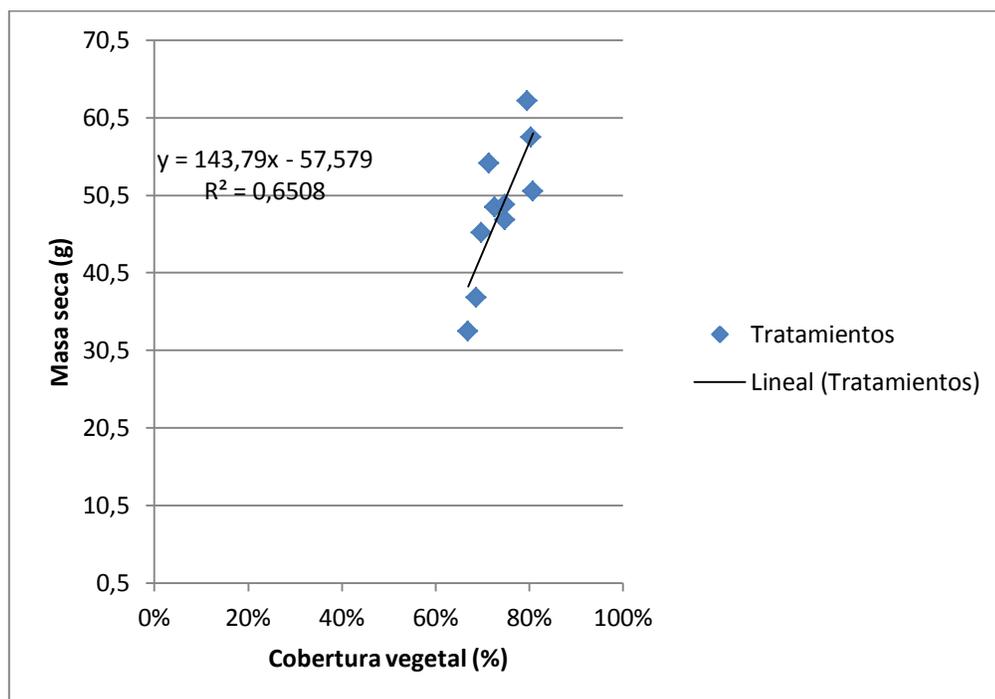


Figura 13. Correlación lineal entre la materia seca producida y la cobertura vegetal alcanzada por los tratamientos.

El análisis de correlación entre sobrevivencia y de biomasa producida, nos permite inferir que la biomasa está relacionada con el número de individuos que estaban en la unidad experimental. En la Figura 14, se puede observar esta relación entre ambas variables, en donde se observa que a mayor número de individuos, mayor producción de materia seca, y por consiguiente mayor

producción de biomasa aérea. Sin embargo, esta correlación es menor al 60%, ya que existen otros factores que también influyen en la producción de materia seca.

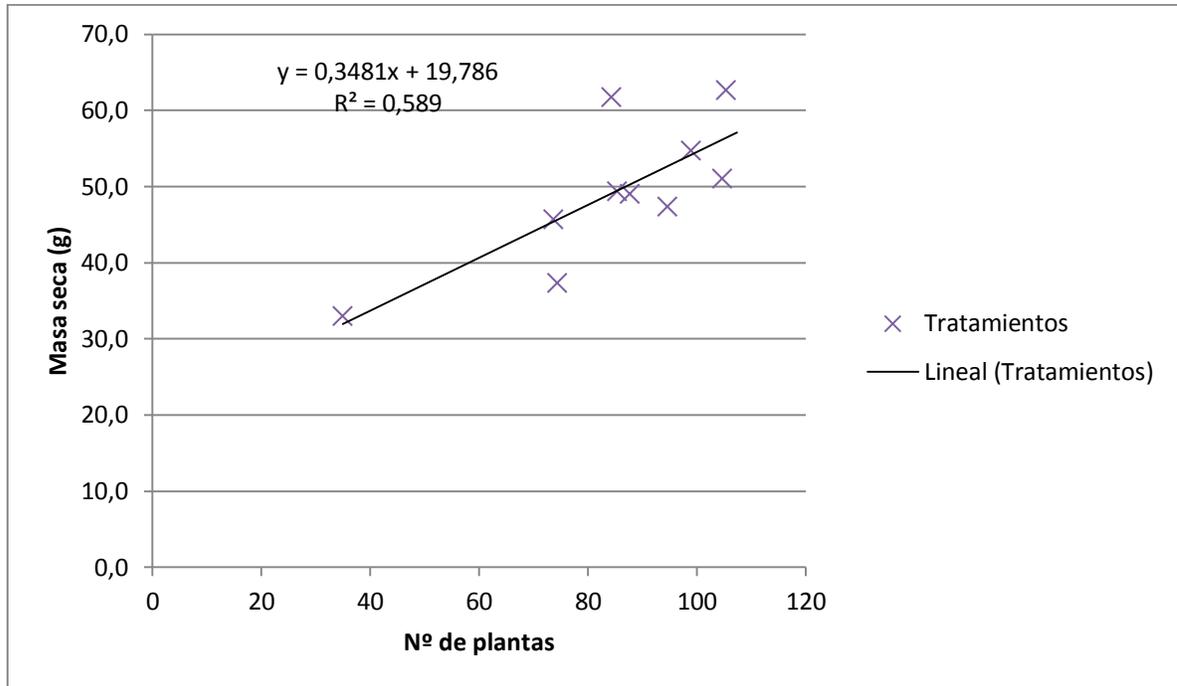


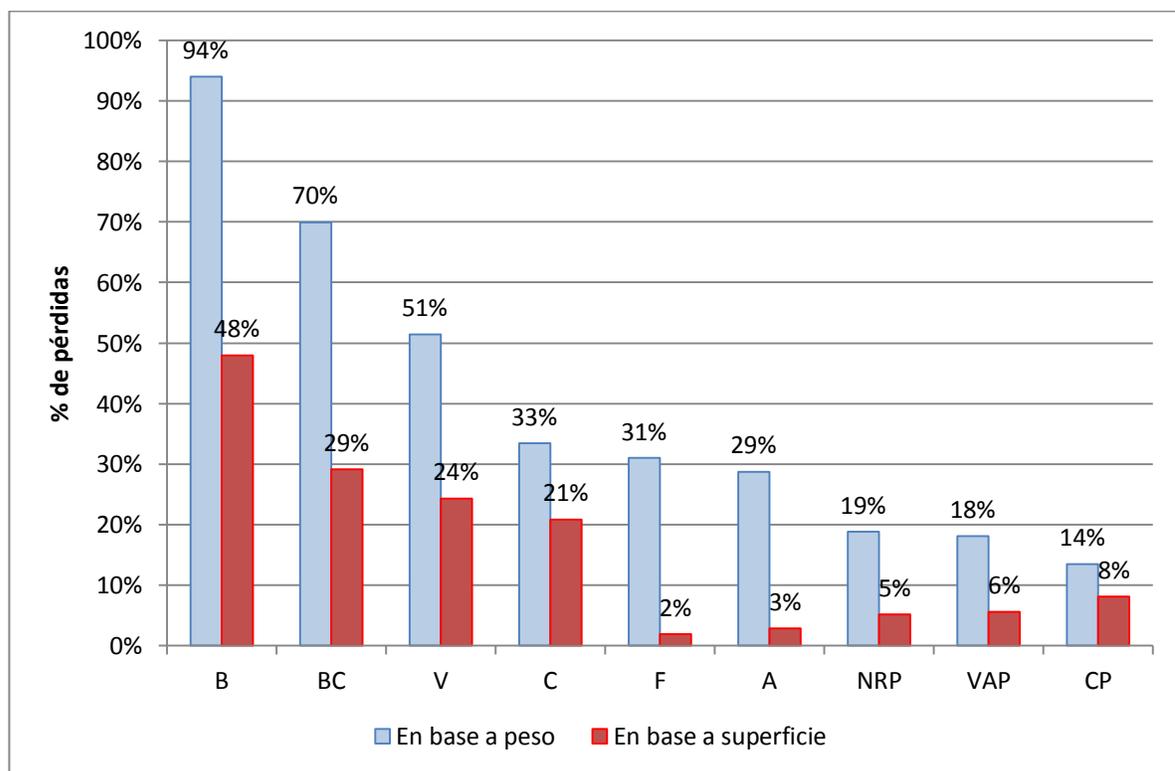
Figura 14. Correlación entre materia seca y número de plantas.

En la literatura científica se encuentra variados parámetros para relacionar características del biotipo de las plantas con la producción de biomasa, inclusive, realizan el producto entre distintas variables para obtener un estimador de biomasa más eficiente (Belmonte y López, 2003; Castro *et al.*, 1996; A. Herrera *et al.*, 2001; M. Herrera, 2002; Iglesias y Barchuk, 2010). Se pueden mencionar: el producto entre cobertura vegetal y altura máxima alcanzada, el cuadrado de la cobertura vegetal, entre otros. Farrell *et al.* (2013) lograron altos coeficientes de regresión entre el porcentaje de cobertura estimado mediante imágenes espectrográficas en un cultivo de maíz con la biomasa seca producida y la altura promedio de las plantas. No obstante, su estudio requeriría plantearse otros objetivos que no forman parte de esta investigación.

4. **Evaluación de la longevidad funcional de las mezclas de hidrosiembra.**

La longevidad funcional depende de la naturaleza del material, y la proporción de los componentes fibrosos de la mezcla. Como se describe en la metodología, la evaluación de este

criterio fue realizado por medio de dos variables medidas en las bandejas tipo B, que son: las pérdidas de material en base a peso y las pérdidas de material en base a cobertura. En la Figura 15, se observan los resultados obtenidos en las distintas mezclas.



* Leyenda de Tratamientos: A: algodón; B: Bagazo de caña; BC: bagazo-coco; C: coco; CP: coco-papel; F: Flexterra®; NRP: pino-arroz-papel; S: mezcla sin fibras; ST: sin mezcla, V: vetiver; VAP: vetiver-algodón-papel.

Figura 15. Pérdidas de material (%) en cada tratamiento a los 4 meses.

El Bagazo de caña (B) y el Bagazo con Coco (BC) fueron los tratamientos que mostraron valores más altos de pérdidas de material, tanto en peso como en superficie cubierta sobre el suelo, debido en gran parte al estado original del bagazo que se encontraba en estado muy degradado.

El papel ayudó a evitar la disgregación del material. Al comparar el tratamiento Coco (C) con el tratamiento Coco-Papel (CP) se ve el efecto positivo que tuvo el papel periódico en disminuir las pérdidas de material en base a peso y por ende favoreció el mantenimiento de la cobertura sobre el suelo.

En general, las mezclas compuestas tuvieron un mejor desempeño en evitar la descomposición del material que las mezclas con un solo tipo de fibra. Las mezclas Pino-Arroz-Papel (NRP), Vetiver-Algodón-Papel (VAP) Y Coco-Papel (CP) registraron las menores pérdidas de en peso y en superficie de todos los tratamientos.

Por su parte, los tratamientos como el Algodón y el Flexterra® tuvieron pérdidas en base a peso medias, pero la superficie no disminuyó. Es de hacer notar que sean las fibras con menores densidades por lo que el volumen de material utilizado fue mayor, y por lo que mantuvieron su cobertura a pesar de disminuir su peso.

La composición química del mulch determina su calidad como alimento para organismos descomponedores. Swift *et al.* (1979), mencionados por Duryea *et al.* (1999), refiere que los 3 grupos principales de compuestos que influyen en la deseabilidad del mulch como fuente de alimento son: 1) las fuentes de carbono y energía, 2) las fuentes de nutrientes, y 3) los productos químicos que podrían inhibir o estimular la actividad de descomposición. Así mismo indican que entre las fuentes de carbono y energía, el primero en ser descompuesto son los hidratos de carbono (azúcares), seguido de los polisacáridos de la pared celular (celulosa y hemicelulosa) y por último la lignina. Duryea *et al.* (1999) mencionan un estudio realizado por Cromack (1973) con la hojarasca de 5 especies diferentes donde éste demostró una correlación negativa altamente significativa ($r^2 = 0,89$) entre la cantidad de lignina y la cantidad de descomposición, lo que significa que las especies con más lignina se descomponen menos.

El análisis estadístico detallado en el Cuadro 20, muestra que existen diferencias significativas entre los tratamientos. Coco-Papel (CP), Pino-Arroz-Papel (NRP) y Vetiver-Algodón-Papel (VAP) constituyen un grupo estadístico homogéneo con las menores pérdidas de material en masa y superficie, lo que confirma el comportamiento de mezclas con fibras de distinto tipo. Este comportamiento puede atribuirse al contenido de lignina del papel periódico, que puede llegar hasta un 30% en peso (Bellido, 2013). Además el papel periódico ayudó a mantener la integridad estructural de la mezcla de hidrosiembra durante el período estudiado de cuatro meses. Caso contrario se presentó en los tratamientos que contienen bagazo en los cuales las

pérdidas en masa y superficie fueron las mayores de todos los grupos estadísticos, debido al nivel de disgregación que presentaba el material utilizado.

Cuadro 20. Pérdidas de material en base a peso y superficie cubierta*.

Fibras	Código	Pérdidas (%)	
		En masa	En superficie
Coco-Papel	CP	13 ^a	8 ^a
Pino-Arroz-Papel	NRP	17 ^a	5 ^a
Vetiver-Algodón-Papel	VAP	18 ^a	6 ^a
Algodón	A	29 ^b	3 ^a
Flexterra [®]	F	31 ^b	2 ^a
Coco	C	33 ^b	21 ^b
Vetiver	V	51 ^c	24 ^{bc}
Bagazo de caña-Coco	BC	70 ^d	29 ^c
Bagazo de caña	B	94 ^e	48 ^d

En general, las mezclas que contenían papel y/o algodón en su composición conservaron mejor su integridad como cobertura y con valores menores de degradación que aquellas conformadas por otros tipos de fibra.

5. Análisis comparativo de los tratamientos

Los tratamientos presentaron comportamientos diversos debido a las distintas características físicas y químicas de las fibras utilizadas. Con toda la información recopilada, se procedió a elaborar un baremo comparativo, estableciendo cinco clases con cada variable medida en este estudio, como se detalla en el Cuadro 21. Cada tratamiento obtuvo un valor del 1 al 5 en las distintas variables, según su comportamiento en esta investigación (ver Cuadro 22).

* Prueba de medias de Duncan: Letras iguales en una misma columna representan un grupo estadísticamente homogéneo. Nivel de significancia: 0.05.

Cuadro 21. Categorización de las variables medidas.

Criterios	Variables	máximo	mínimo	N de clases	tamaño de clase
Control de la erosión	separabilidad	1	0	5	0,2
	cobertura de la mezcla	100,0	0	5	20,0
Establecimiento Vegetativo	Máxima germinación	100,0	0	5	20,0
	sobrevivencia	100,0	0	5	20,0
	cobertura a 31 días	100,0	0	5	20,0
	cobertura a 56 días	100,0	0	5	20,0
	materia fresca total	272,0	0	5	54,4
	% materia seca	100,0	0	5	20,0
longevidad funcional	pérdidas en peso	100,0	0	5	20,0
	pérdidas en superficie	100,00	0	5	20,0

Cuadro 22. Baremo comparativo de los tratamientos en las variables medidas.

Tratamientos	CONTROL EROSIÓN		ESTABLECIMIENTO VEGETATIVO						LONGEVIDAD FUNCIONAL	
	factor separabilidad	cobertura de la mezcla	Máxima germinación	sobrevivencia	%CV 32 días	%CV 2 meses	materia fresca total	materia seca	pérdidas en peso	pérdidas en superficie
Algodón	5	5	2	2	2	4	3	2	4	5
Bagazo de caña	2	4	4	3	4	4	4	2	1	3
Bagazo de caña-Coco	4	4	4	4	4	4	5	2	2	4
Coco	5	5	4	4	4	4	5	2	4	4
Coco-Papel	3	5	4	4	4	4	4	2	5	5
Flexterra®	5	5	4	3	4	4	4	2	4	5
Pino-Arroz-Papel	4	5	4	3	3	4	3	2	5	5
Sin fibras	3	1	5	4	4	5	4	2	1	1
Vetiver	4	4	4	3	4	5	5	2	3	4
Vetiver-Algodón-Papel	4	5	3	3	4	4	4	2	5	5

Seguidamente, se calculó un promedio de los valores obtenidos dentro de cada uno de los tres criterios utilizados en esta investigación para evaluar mezclas con fines de hidrosiembra, y se le asignó un nombre a cada categoría de la siguiente manera:

- 1 → Malo.
- 2 → Deficiente
- 3 → Regular.
- 4 → Bueno.
- 5 → Muy Bueno.

Los resultados obtenidos se muestran en el cuadro siguiente.

Cuadro 23. Comparación de los tratamientos en base a los criterios de evaluación de mezclas de hidrosiembra.

Tratamiento	Código Control de Erosión Establecimiento Vegetativo Longevidad Funcional			
Algodón	A	Muy bueno	Regular	Muy bueno
Bagazo de caña	B	Regular	Bueno	Deficiente
Bagazo de caña-Coco	BC	Bueno	Bueno	Regular
Coco	C	Muy bueno	Bueno	Bueno
Coco-Papel	CP	Bueno	Bueno	Muy bueno
Flexterra®	F	Muy bueno	Bueno	Muy bueno
Pino-Arroz-Papel	NRP	Muy bueno	Regular	Muy bueno
Sin fibras	S	Deficiente	Bueno	Malo
Vetiver	V	Bueno	Bueno	Bueno
Vetiver-Algodón-Papel	VAP	Muy bueno	Regular	Muy bueno

En general, la calificación definitiva a la hora de seleccionar una determinada fibra o combinación de estas en la mezcla con fines de hidrosiembra va a depender de las condiciones del sitio donde se va a aplicar y objetivos perseguidos, conjuntamente con otras consideraciones económicas y técnicas, como por ejemplo, costos, disponibilidad, facilidad para la preparación de la mezcla y su aplicación.

El peso de los criterios utilizados también es variable, siendo que el criterio de establecimiento de la vegetación siempre es importante; en cambio el criterio del control de la erosión se plantea de acuerdo a los riesgos de degradación que presente el sitio donde se va a aplicar la

hidrosiembra, y el criterio de la longevidad funcional de la mezcla es importante en escenarios donde se requiera largos periodos para establecer una vegetación.

A continuación se realiza un análisis detallado de cada mezcla, describiendo su desempeño ante las variables medidas en este estudio.

Tratamiento con fibras de algodón (A):

La protección ante el impacto de la gota fue muy eficiente con muy pocas pérdidas por salpique en la prueba del simulador de lluvia, además de ser un material que ofrece un excelente cubrimiento como mezcla. Sin embargo, este comportamiento afectó la germinación y sobrevivencia de las plántulas, obteniéndose los menores valores de germinación de todos los tratamientos, generándose una baja densidad de plantas y a su vez bajos valores de cobertura vegetal durante los primeros 40 días. A partir de la segunda semana, aumentaron los valores de cobertura mayores hasta alcanzar un 65%, debido a que las plántulas crecieron en mayor tamaño y más rápidamente. No obstante, la producción de biomasa fue la menor de todos los tratamientos debido principalmente a la poca densidad de plantas presentes. El análisis de la longevidad funcional de las mezclas a los cuatro meses, demuestra el buen comportamiento del algodón, es decir, es capaz de proteger la superficie del suelo el tiempo necesario para que se establezca una vegetación.

Tratamiento con bagazo de caña de azúcar (B):

Presentó un comportamiento regular en el control de la erosión, y bueno en el establecimiento vegetativo. Se utilizó un bagazo de caña de azúcar con más de un año de almacenamiento, por lo que estaba muy pulverizado. Ofreció los valores más bajos en cobertura inicial de la mezcla, presentando también la peor protección ante el impacto de la gota, con valores de separabilidad incluso mayores al tratamiento testigo. En este tratamiento se vio afectada la germinación en las semanas iniciales por algún factor no medido en este trabajo. Posteriormente se recuperó hasta alcanzar valores promedios de sobrevivencia semejantes a los demás tratamientos. La cobertura de la vegetación generada fue muy baja durante las dos

primeras semanas, pero posteriormente se niveló con los demás tratamientos, con plántulas de tamaño y número de hojas promedio y biomasa superior en valor a los tratamientos testigo (F). Sin embargo la longevidad funcional de la mezcla fue mala, con las mayores pérdidas en masa y superficie de todos los tratamientos utilizados.

Tratamiento con bagazo caña de azúcar y fibra de coco (3B:2C):

Al agregar coco a la mezcla de bagazo se mejoraron algunos parámetros con respecto al bagazo solo. Por ejemplo, aumentó ligeramente la tasa de germinación, pero se mantuvo semejante la producción de vegetación y sus características biométricas. Disminuyeron ligeramente las pérdidas de material, pero con valores todavía muy superiores al producto comercial (F), y se observó un mejor comportamiento en cuanto a la separabilidad, ante el impacto de la gota de lluvia de alta intensidad. Asimismo, el análisis visual revela la disgregación de los componentes de la mezcla, y un comportamiento semejante al bagazo solo, por lo que no ofrece una cobertura adecuada y se considera como una mezcla regular en el control de la erosión.

Tratamiento con fibra de coco (C):

Este tratamiento presentó un buen desempeño en los tres criterios evaluados. Ofreció una cobertura inicial adecuada, protegiendo al suelo en los estados iniciales, y con un muy buen comportamiento ante el impacto de la gota de lluvia, es decir, una adecuada protección ante la erosión por la gota de lluvia de alta intensidad. Se presentaron valores altos en germinación, sobrevivencia y cobertura vegetal desarrollada, así como en biomasa aérea producida, lo que indica su buen comportamiento en el rápido establecimiento de una vegetación. El análisis de la longevidad funcional reveló un buen desempeño, lo que indicaría su resistencia a la degradación natural de la mezcla. Sin embargo, se observó que la mezcla no se mantiene homogénea en el transcurso del tiempo, y sería necesario evaluar otras variables como la transportabilidad y la erosión laminar, para verificar su comportamiento ante la escorrentía.

Tratamiento con fibra de coco y papel periódico (3C:2P):

Se caracterizó por un buen comportamiento en las variables medidas. Ofreció valores altos en cuanto a superficie cubierta por la mezcla, y valores aceptables en separabilidad por la gota de lluvia. Obtuvo valores adecuados en germinación y sobrevivencia de plántulas y el desarrollo de las mismas fue semejante a los testigos. Las pérdidas en peso y superficie a través del tiempo fueron muy bajas. Esto nos indica que bajo condiciones normales este tratamiento se degrada lentamente, pero en lluvia de alta intensidad, se comporta por debajo del promedio.

Tratamiento con Flexterra® (F):

Su desempeño ante las variables medidas en este ensayo en el control de la erosión fue muy bueno, ofreciendo una cobertura alta de la mezcla, muy bajas pérdidas ante el impacto de la gota de lluvia y con pérdidas de material bajos en el periodo estudiado de cuatro meses; de hecho obtuvo los valores más bajos de todos los tratamientos utilizados. Obtuvo valores promedio en germinación, sobrevivencia y materia seca producida, lo que le influyó en un buen desempeño en el establecimiento de la vegetación.

Tratamiento con acículas de pino, cascarilla de arroz y papel periódico (4N:3R:3P):

Su comportamiento es muy bueno en el control de erosión y longevidad funcional, obteniendo pérdidas de material bajas al impacto de la gota y con pocas señales visibles de degradación en el tiempo. Sin embargo, se observó una afectación en el desarrollo de las plántulas, con una pendiente de crecimiento menor al resto de los tratamientos, y a pesar de obtener altos valores de germinación, la cobertura vegetal y el desarrollo de las plántulas fue más lento que en los demás tratamientos. Esto puede atribuirse a algún agente no medido en esta investigación, como la presencia sustancias fenólicas del pino inhibidoras del crecimiento.

Tratamiento con fibras de vetiver (V):

Muestra un buen desempeño en el control de la erosión, con baja separabilidad ante el impacto de la gota de lluvia ofreciendo una cobertura regular de la mezcla. En cuanto a la germinación,

no la perjudicó en ningún momento, y la vegetación mostró valores de crecimientos altos, así como de biomasa y altura de plántulas. Al analizar su comportamiento degradativos se observa que es regular, con pérdidas del material por encima del promedio, y visualmente se observó una disgregación del material que por efecto de la descomposición podría provocar pérdidas del mismo ante los procesos erosivos.

Tratamiento con fibras de vetiver, algodón y papel periódico (4V:3A:3P):

Esta mezcla se caracterizó por presentar un alto porcentaje de fibras aglutinantes (60% algodón y papel). Esto le confirió un buen comportamiento como mezcla, mostrando homogeneidad de la misma, cubriendo adecuadamente el sustrato desde el inicio, y con muy bajas tasas de degradación a través del tiempo. Sin embargo, la germinación y el número de plantas al final del ensayo fueron menores al promedio general, afectando la cobertura vegetal formada, con respecto a los demás tratamientos, aunque con valores promedios por encima de tratamientos como el algodón solo.

Conclusiones

Los estudios realizados en este trabajo experimental indican que podría ser factible utilizar fibras de disponibilidad local para reemplazar productos comerciales en la hidrosiembra y de esta manera aplicar esta tecnología de forma más amplia en nuestro país, al disminuir los costos de importación de los elementos constituyentes.

Todas las fibras evaluadas mostraron características específicas que podrían ser aprovechables según sean los objetivos propuestos por el investigador. Las fibras Algodón (A) y Papel (P) mostraron altos valores de retención de humedad, atribuible al contenido de celulosa presente en las mismas. Este comportamiento influyó en la formación de mezclas más homogéneas en su composición y en la distribución de las mismas sobre la superficie del sustrato, además de ofrecer valores más altos en cobertura. Es por ello que se considera que deberían ser elementos fundamentales para la formación de una adecuada mezcla de hidrosiembra. Sin embargo, en altas proporciones podrían interferir en el crecimiento vegetativo y representar una desventaja. El resto de las fibras evaluadas tienen una menor capacidad de retención de humedad pero facilitan la aireación y estructura del hidromanto.

La mayoría de las mezclas evaluadas ofrecieron buena protección del suelo en el control de la erosión ante el impacto de la gota de lluvia de alta intensidad al disminuir el factor de separabilidad del mismo con eficiencias entre 65% hasta 99%. La excepción se presentó con las mezclas que contienen bagazo de caña (B, BC), debido al nivel de descomposición previa que mostró este material. Las mezclas estudiadas evitarían la dispersión de las partículas del suelo disminuyendo la formación del sello y costra, y por consiguiente de la escorrentía superficial, favoreciendo la absorción de humedad por parte del sustrato. Es necesario evaluar el comportamiento de las mezclas en posteriores estudios de campo para concluir adecuadamente sobre la efectividad de las mismas en el control de la erosión.

Los aditivos (PAM, hidrogel) durante las pruebas de salpicadura cumplen un rol importante dentro de la mezcla, al disminuir las pérdidas por salpicado del sustrato por acción de la gota de lluvia en un 46%, lo que indicaría la necesidad de los mismos en la conformación de una mezcla de hidrosiembra.

La cobertura inicial ofrecida por la mayoría de las mezclas estuvo por encima del 80% (subfactor $C=0,10$), estando incluso por encima del 90% (subfactor $C=0,06$) en aquellas que contenía algodón y papel en su composición, así como también el producto comercial (F). La excepción se presentó con el Bagazo (B) y Bagazo con Coco (BC) con 75% (subfactor $C=0,14$) y 67% (subfactor $C=0,15$) de superficie cubierta por la mezcla; no obstante, por el análisis el subfactor C correspondiente revela que ambas reducirían en por lo menos un 85% las pérdidas de suelo, por lo que no se descartan por completo para estudios posteriores.

Las mezclas seleccionadas permitieron el rápido desarrollo y establecimiento de una vegetación, lo suficientemente densa para proteger al sustrato y disminuir las pérdidas por erosión. La excepción se presentó con el tratamiento Algodón (A), el cual interfirió en la emergencia de las semillas al formar una capa muy rígida sobre la superficie, afectando así el porcentaje de emergencia y posteriormente retrasando los valores de cobertura vegetal sobre el suelo con respecto a los demás tratamientos. Las mezclas donde estaba presente la fibra de coco (Coco, Bagazo de caña-Coco y Coco-Papel) no afectaron mayormente la germinación/emergencia. Sin embargo, durante el periodo de ensayo, esas diferencias van disminuyendo, y para las ocho semanas la vegetación había cubierto prácticamente toda la superficie del sustrato.

La mayor sobrevivencia se presentó en la mezcla comercial (F) y en la de algodón (A), posiblemente debido a la menor población inicial y menor competencia en el caso del algodón y en mejores condiciones para el establecimiento de la vegetación ofrecido por el producto comercial.

La cobertura vegetal alcanzada, y por ende, la protección ofrecida por el dosel de la vegetación a los 16 días, está por encima del 30% en casi todos los tratamientos excluyendo el algodón (A) y el bagazo (B), con valores de 15,6% y 12,7% respectivamente, ofreciendo una menor

protección inicial del sustrato; y específicamente el tratamiento con Bagazo (B), es más crítico, porque el hidromanto también tuvo una menor cobertura en superficie. El tratamiento con coco (C) presentó la velocidad de crecimiento de la cobertura mayor con una pendiente de crecimiento superior según el análisis de regresión. Después de 50 días, hasta el final del ensayo los grados de cobertura alcanzados son más uniformes entre los diferentes tratamientos y fluctúan entre 67 y 80 % de cobertura.

El crecimiento individual de las plantas presentó un comportamiento similar en cuanto a número de hojas y altura de las mismas. Solo los tratamientos con algodón (A) y vetiver (V) presentaron altura de plantas por encima del promedio al final del ensayo. En el caso del tratamiento A esto podría explicarse por la menor población de plantas y por ende mejor aprovechamiento de los recursos disponibles en el sustrato.

Las mezclas evaluadas permanecen protegiendo a la superficie del sustrato el tiempo suficiente para el establecimiento de una vegetación sobre el mismo. El caso discordante lo presentó el bagazo de caña, que podría ser consecuencia del nivel de disgregación en que se encontraba originalmente. En general, los tratamientos con mezclas que contienen papel y algodón presentaron mejor estabilidad durante su elaboración y aplicación, y menores valores de degradación que aquellos en los cuales había un solo tipo de fibra.

Las metodologías para medir cobertura vegetal por medio de la Grilla y el programa informático CobCal, ofrecen resultados estadísticamente semejantes. Ambas metodologías presenta sus ventajas y desventajas por lo que depende de los objetivos que se plantee el investigador la conveniencia del uso de alguna de ellas.

Se realizó un baremo comparativo de las mezclas evaluadas. En general, la calificación definitiva a la hora de seleccionar una determinada fibra o combinación de estas en la mezcla con fines de hidrosiembra va a depender de las condiciones del sitio donde se va a aplicar y objetivos perseguidos, conjuntamente con otras consideraciones económicas y técnicas, como por ejemplo, costos, disponibilidad, facilidad para la preparación de la mezcla y su aplicación.

Recomendaciones

El carácter indagatorio de este trabajo hace necesario continuar las investigaciones que profundicen y amplíen los resultados obtenidos. Se recomienda que en futuros ensayos se evalúen las mezclas seleccionadas modificando tanto la composición como la proporción de los componentes y dosis aplicadas. En el caso de los componentes de fibras, aquellos que favorecen la homogeneidad y mejor distribución de la mezcla como el algodón (A) y el papel (P), con aquellas que favorecen la aireación y la estructura como las fibras de coco (C), vetiver (V), el bagazo (B), la aguja de pino (N) y la concha de arroz (R). Esto permitirá evaluar el comportamiento de las mezclas en distintos niveles y tipos de tratamiento, no considerados en este trabajo.

Incluir en posteriores estudios, otros indicadores de tipo técnico y económico que permitan tener una mejor caracterización de las fibras a ser usadas con fines de hidrosiembra, entre ellos se pueden mencionar: evaluación química de las fibras, resistencia a las fuerzas de corte, estudios sobre costos, pérdidas de suelo por escorrentía, análisis sobre el enraizamiento, entre otros.

Los estudios realizados en este trabajo se enfocaron en una evaluación de laboratorio/invernadero y con una intencionalidad indagatoria sobre el comportamiento de los materiales estudiados. Sin embargo, se hace necesario realizar estudios posteriores sobre el comportamiento de las mezclas con fines de hidrosiembra en ensayos de campo, donde se evalúe directamente su efectividad en los criterios seleccionados. Un ejemplo de esto se presentó en la aplicación manual de la semilla sobre el sustrato, ya que por razones operativas no se agregó directamente en la mezcla, pudiendo esto afectar la cobertura obtenida tanto inicial por el hidromanto como por la vegetación, que la que se obtenga al ser distribuida al voleo mediante la máquina de hidrosiembra. Otro elemento importante sería la evaluación de la escorrentía, variable no evaluada en esta investigación y que constituye un aspecto fundamental para determinar la eficiencia de las mezclas en el control de la erosión.

Realizar estudios sobre materiales que puedan sustituir los aditivos (PAM, hidrogel) de la hidrosiembra. En la literatura científica se encuentran algunos ensayos sobre posibles sustancias vegetales que presenten características y comportamientos semejantes a los aditivos necesarios para la hidrosiembra. Esto permitiría ampliar las posibilidades de aplicar esta tecnología de restauración ecológica de forma más amplia en nuestro país.

El uso de colorantes en la mezcla ayuda en el momento de su aplicación para obtener una mejor distribución y cobertura, y puede dar un efecto visual importante en proyectos paisajísticos, por lo que es importante incluir ese componente en el desarrollo de mezclas para su uso comercial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albaladejo, J., Alvarez Rogel, J., Querejeta, J., Díaz, E., y Castillo, V. 2000. Three hydro-seeding revegetation techniques for soil erosion control on anthropic steep slopes. *Land Degradation & Development*, 11(4), 315–325. [http://doi.org/10.1002/1099-145X\(200007/08\)11:4<315::AID-LDR394>3.0.CO;2-4](http://doi.org/10.1002/1099-145X(200007/08)11:4<315::AID-LDR394>3.0.CO;2-4)
- Alegre, J. 2007. *Manual sobre el uso y manejo del pasto vetiver (Chrysopogon zizanioides)*. [en línea] http://www.vetiver.com/TVN_manualvetiver_spanish-o.pdf
- Alvarez, E., Asencio, C., Martínez, M., y Molina, Y. 2011. Estudio comparativo de dos técnicas de revegetación para la optimización de la estabilidad en taludes con pendientes superiores al 3H:2V. *Rutas*, (144), 26–33. [en línea] [http://www20.gencat.cat/docs/ptop/Home/Butlletins/Butlleti_innovacio/pdf/04/Estudio comparativo 2 t%C3%A9cnicas revegetaci%C3%B3n_DGC_Generalitat.pdf](http://www20.gencat.cat/docs/ptop/Home/Butlletins/Butlleti_innovacio/pdf/04/Estudio_comparativo_2_t%C3%A9cnicas_revegetaci%C3%B3n_DGC_Generalitat.pdf)
- Andrade, O., y Rodríguez, O. 2002. Evaluación de la eficiencia de barreras vivas como sistemas de conservación de suelos en ladera. *Bioagro*, 14(3), 123–133. [en línea] <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85714301>
- Bellido, C. 2013. *Obtención de bioetanol 2G a partir de hidrolizados de paja de trigo. Fermentación conjunta de los penta y hexa carbohidratos con Pichia stipitis*. Universidad de Valladolid. [en línea] <https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/4556/1/TESIS501-140301.pdf>
- Belmonte, F., y López, F. 2003. Estimación de la biomasa de una especie vegetal mediterránea (Tomillo, *Thymus vulgaris*) a partir de algunos parámetros de medición sencilla. *Ecología*, (17), 145–151.
- BonTerra Ibérica S.L. 2013. *Hidromulch*. [en línea] http://www.controlerosion.es/?page_id=1262
- Bracho, J., Pierre, F., y Quiroz, A. 2009. Caracterización de componentes de sustratos locales para la producción de plántulas de hortalizas en el Estado Lara, Venezuela. *Bioagro*, 21(2), 117–124. [en línea] [http://www.ucla.edu.ve/bioagro/Rev21\(2\)/Caracterización de componentes de sustratos.pdf](http://www.ucla.edu.ve/bioagro/Rev21(2)/Caracterización_de_componentes_de_sustratos.pdf)
- Briceño, L., y Bolívar, F. 2007. Evaluación de la eficiencia del vetiver (*Vetiveria zizanioides*) en la conservación de suelos de laderas en parcelas yuqueras de Macapo, Edo. Cojedes. *Agrollania*, 4, 143–148. [en línea] <http://150.187.216.91/revistas/index.php/arcyt/article/viewFile/88/100>
- Caltrans. 2003. Guidance for temporary soil stabilization. California, EEUU. [en línea] www.dot.ca.gov/hq/construc/stormwater/tempsoilstabilizationguide.pdf

- Caltrans. 2010. *Erosion control and vegetation cover performance of four hydromulch types under simulated rainfall*. Sacramento, CA. [en línea] http://www.dot.ca.gov/hq/LandArch/research/docs/rs10_final_report.pdf
- Castro, I., Casado, M., Ramírez, L., Miguel, J., Costa, M., y Díaz, F. 1996. Funciones de estimación de la biomasa aérea de varias especies del matorral mediterráneo del centro de la península Ibérica. *Journal of Medical Microbiology*, 53(9), 107–116. [en línea] <http://www.raco.cat/index.php/Orsis/article/viewFile/24382/89556>
- Ceijas, R. 2008. *Aportaciones de la ecología de la restauración al proceso de ejecución de obras de restauración paisajística*.
- Centeno, F. 2002. Ingeniería Biotecnica y Bioingeniería: Nuevas tendencias de la Geotecnia para las obras de tierra, la estabilización de taludes y el control de la erosión. In *XVII Seminario Venezolano de Geotecnia* (p. 30). Caracas: Sociedad Venezolana de Geotecnia. [en línea] http://www.centeno-rodriguez.com/files/Trabajo_de_FCP_SVDG_XVII_Seminario_Nov_2002.pdf
- Chaikumpollert, O. 2003. *Isolation and structural characterization of hemicelluloses from vetiver grass*. Mahidol University. [en línea] <http://www.li.mahidol.ac.th/thesis/2546/cd358/4436292.pdf>
- Chávez, P., y López, M. 2008. *Evaluación de propiedades físicas y mecánicas de aislantes térmicos fabricados con polvo de la estopa de coco*. Universidad de El Salvador.
- Cirujeda, A., Aibar, J., Marí, A., Anzalone, A., y Zaragoza, C. 2012. Resultados preliminares de la aplicación de “hidromulch” en cultivo de pimiento. In *X Congreso SEAE*. Albacte, España.
- Cirujeda, A., Aibar, J., y Zaragoza, C. 2014. *Alternativas al acolchado con polietileno en horticultura*. Zaragoza, España. [en línea] http://www.omaaragon.org/riesgos/ficheros/_3590.pdf
- Cruz, E., Can, A., Sandoval, M., Bugarín, R., Robles, A., y Juárez, P. 2013. Sustratos en la horticultura. *Revista Biociencias*, 2(2), 17–26.
- Dagnino, E., Roggero, F., Morales, W., Chamorro, E., Felissia, F., Area, M., y Romano, S. 2012. Hidrólisis enzimática de cascarilla de arroz pretratada con ácido diluido para evaluar la eficacia de la etapa de pretratamiento. In *II Jornadas de Investigación en Ingeniería del NEA y países limítrofes “Hacia dónde van la Ciencia y la Tecnología en el MERCOSUR”* (p. 5). Buenos Aires, Argentina: Universidad Tecnológica Nacional. [en línea] <http://frre.utn.edu.ar/IJCYT/clean/files/get/item/2151>. Fecha de consulta: 12/02/2015
- Debats, S., Pilotte, D., y Sahai, R. 2007. Effect of hydromulch and fire intensity on post- fire Chaparral: A Griffith Park Case Study.

- Díaz, C. 2011. Alternativas para el control de la erosión mediante el uso de coberturas convencionales, no convencionales y revegetalización. *Ingeniería E Investigación*, 31(3), 80–90. [en línea] http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092011000300009&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Duryea, M. L., English, J. J., y Hermansen, A. a. 1999. A comparison of landscape mulches: Chemical, allelopathic, and decomposition properties. *Journal of Arboriculture*, 25(2), 88–97.
- EcoAegis. 2013. Hidromulch. [en línea] <http://www.profile-eco.com/es/product/>
- ECTC. 2003. ECTC Test Method #2. [en línea] <http://www.ectc.org/guide/ECTC Bench Slope Test Method.pdf>
- ECTC. 2004. *ECTC Test Method #4*. [en línea] <http://www.ectc.org/guide/BenchscaleGerminationTest.pdf>
- ECTC. 2012. *Hydraulic erosion control products (HECPs) general usage and installation guidelines*. Erosion Control Technology Council. Minesota, EEUU. [en línea] <http://www.ectc.org//HECPs Guidelines.pdf>
- Farrell, M., Ghironi, E., Corró Molas, A. E., y Mieza, S. 2013. Relación de índices espectrales con parámetros vegetales en el cultivo de maíz. In *XX Reunión nacional Selper-México 2013* (p. 6). San Luis Potosí, México. [en línea] http://langif.uaslp.mx/selper/documentos/CD_SELPER_2013/MEMORIAS_SELPER_PDF/Monitoreo/ID_061.pdf
- Flores, R., Novara, L., y Fernández, M. 2008. La hidrosiembra: alternativa para recuperar zonas degradadas ambientalmente en proyectos hidroeléctricos. In *V Congreso argentino de presas y aprovechamientos hidroeléctricos* (p. 16). Tucumán, Argentina: Electrificación del Caroní, C.A. (EDELCA). [en línea] www.cadp.org.ar/docs/congresos/2008/53_3.pdf
- Fonseca, M. 2006. *Determinación de la composición química de la madera de pino Candelillo (Pinus maximoi H. E. Moore) procedente de la finca Río Frío, Tactic, Alta Verapaz*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- González, J., y Martínez, C. 2007. Cambios en la comunidad vegetal sobre estériles de carbón tras hidrosiembra. *Ecología*, (21), 59–70.
- Guerrero, C., Gómez, I., y Mataix-Solera, J. 2007. El uso de enmiendas en la restauración de suelos quemados. In *Incendios Forestales, Suelos y Erosión Hídrica* (pp. 119–154). Alicante, España.

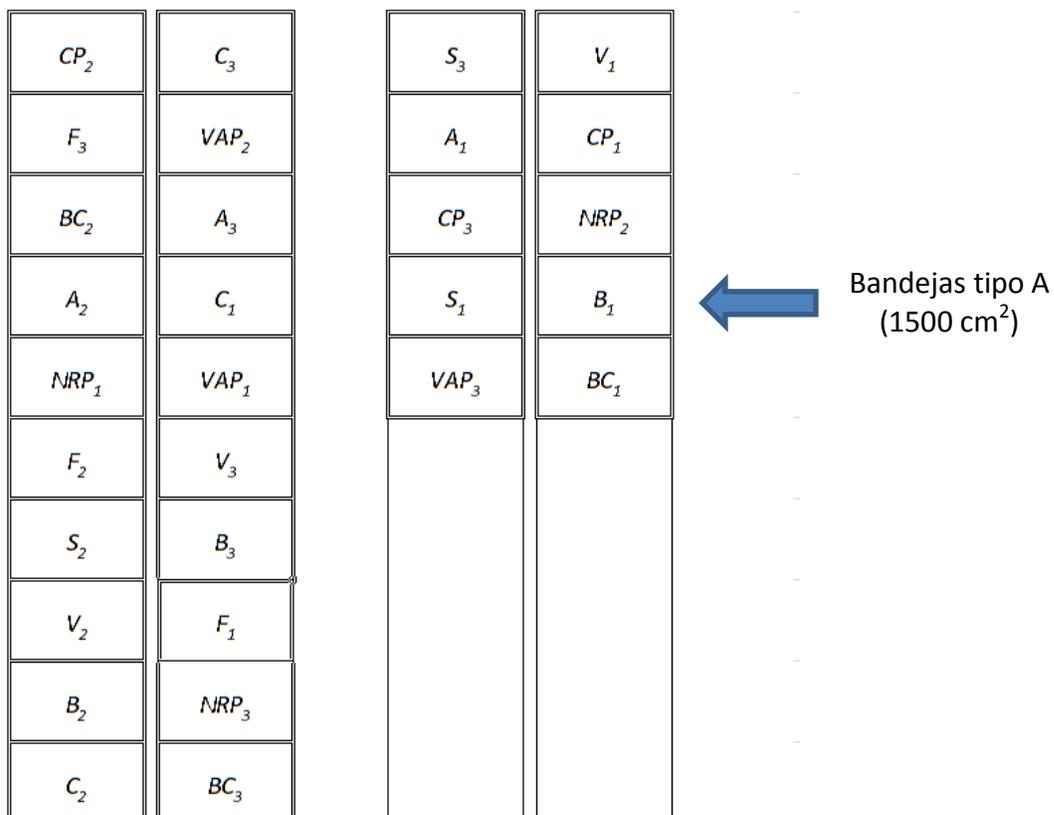
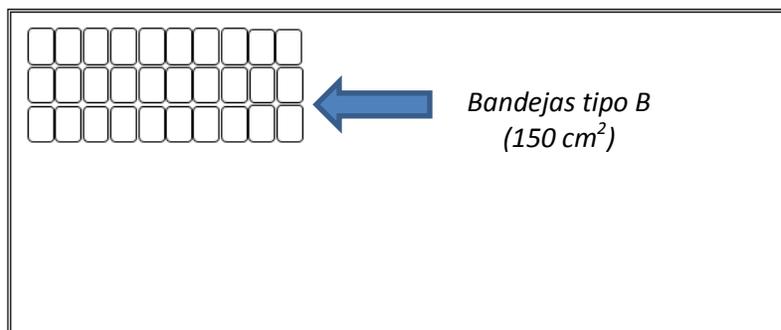
- Hernández, R., Carrasco, P., Mujica, R., y Espínola, M. 2007. Evaluación de la capacidad de adsorción de desechos agroindustriales para la remoción de ácido acético. *Revista de La Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 22(3), 31–46. [en línea] http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652007000300004&lng=es&nrm=iso&tlng=en
- Herrera, A., Del Valle, I., y Orrego, S. 2001. Biomasa de la Vegetación Herbácea y Leñosa Pequeña y Necromasa en Bosques Tropicales Primarios y Secundarios de Colombia. In *Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales* (pp. 1–18). Valdivia, Chile.
- Herrera, M. 2002. *Biomasa de la vegetación herbácea y leñosa pequeña y necromasa en el área de influencia de la Central Hidroeléctrica Porce II*. Universidad Nacional de Colombia.
- Hubbert, K. R., Wohlgemuth, P. M., y Beyers, J. L. 2012. Effects of hydromulch on post-fire erosion and plant recovery in chaparral shrublands of southern California. *International Journal of Wildland Fire*, 21(2), 155–167. [en línea] <http://www.publish.csiro.au/?paper=WF10050>
- Iglesias, M., y Barchuk, A. 2010. Estimación de la biomasa aérea de seis leguminosas leñosas del Chaco Árido (Argentina). *Ecología Austral*, 20(1), 71–79.
- Jorba, M., y Vallejo, R. 2010. *Manual para la restauración de canteras de roca caliza en clima mediterráneo*. Catalunya, España.
- Kwok, A., Evans, C., y Maquindang, S. 2007. *Effects of Hydromulch on Post-Fire Seed Germination*.
- Lal, R., Hall, G., y Miller, F. 1989. Soil degradation: I Basic Processes. *Land Degradation and Development*, 1(1), 51–69.
- Lancaster, T., y Theisen, M. S. 2004. Classifying rolled erosion-control products: a current perspective. *Erosion Control Technology Council*, 12(8), 7. [en línea] <http://www.ectc.org/resources/ClassRECP04.pdf>
- Landloch PTY LTD. 2002. *Studies of hidromulch effectiveness*. National Centre for Engineering in Agriculture Publication. Toowoomba, Australia. [en línea] <http://www.cograss.com/HydromulchResearch.pdf>
- Lauro, F. J., y Theisen, M. S. 2007. Finding the right erosion control solution. *Land and Water*, 50(06), 9–14. [en línea] http://www.landandwater.com/features/vol50no6/vol50no6_1.html

- Martínez, C., y Fernández, B. 2001. Papel de la hidrosiembra en la revegetación de escombreras mineras. *Informes de La Construcción*, 53(476), 27–37. <http://doi.org/10.3989/ic.2001.v53.i476.647>
- Mola, I., Romano, A., Valea, S., Balaguer, L., y López, N. 2006. Criterios para evaluar el éxito de las hidrosiembras: la importancia de las semillas. In *III Congreso de ingeniería civil, territorio y medio ambiente* (p. 16). Zaragoza, España: Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos. [en línea] http://www.ciccp.es/biblio_digital/Icitema_III/congreso/pdf/020609.pdf
- Monroy, A., Castañeda, M., y Fernández, M. 2008. Tecnología mosaicos de vegetación para la naturación de taludes y comparación de ecotécnicas de establecimiento de plantas: hidrosiembra vs. geomalla. *Investigación Universitaria Multidisciplinaria*, 7(7), 45–50. [en línea] dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2986544.pdf
- Núñez, R. 2010. *Estudio tecnológico del componente fibra de dos variedades de coco enano (Cocos nucifera) de los distritos de Lamas, Tarapoto y Pucacaca en la region San Martín*. Universidad Nacional de San Martín.
- Paez, M. 1986. *Erodabilidad relativa de suelos agrícolas de Venezuela e índices de erodabilidad*. UCV.
- Paricaguán, B., Albano, C., Palacios, J., Torres, R., Camacho, N., Infante, J., y Alvarado, M. 2013. Degradación térmica de fibras de coco con tratamiento químico provenientes de mezclas de concreto (estudio cinético). *Revista Ingeniería UC*, 20(2), 60–67.
- Parrotta, J. A., Turnbull, J. W., y Jones, N. 1997. Catalyzing native forest regeneration on degraded tropical lands. *Forest Ecology and Management*, 99(1-2), 1–7. [http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127\(97\)00190-4](http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127(97)00190-4)
- Patrón, J. C., y Pineda, J. 2010. Sustratos orgánicos: Elaboración, manejo y principales usos. In *Primer curso nacional de sustratos*. Texcoco, México.
- Pire, R., y Pereira, A. 2003. Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado Lara, Venezuela. propuesta metodológica. *Bioagro*, 15(1), 55–64. [en línea] http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612003000100007&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Pla, I. 1983. Metodología para la caracterización física con fines de diagnosticas de problemas de manejo y conservación d suelos en condiciones tropicales. *Rev. Fac. Agron. (UCV)*, (32), 91.
- Prado Martínez, M., Anzaldo Hernández, J., Becerra Aguilar, B., Palacios Juárez, H., Vargas Radillo, J., y Rentería Urquiza, M. 2012. Caracterización de hojas de mazorca de maíz y de

- bagazo de caña para la elaboración de una pulpa celulósica mixta. *Madera Y Bosques*, 18(3), 37–51. [en línea] <http://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v18n3/v18n3a4.pdf>
- Prinsen, P. 2010. *Composición química de diversos materiales lignocelulósicos de interés industrial y análisis estructural de sus ligninas*. Universidad de Sevilla. [en línea] <http://www.irnase.csic.es/users/delrio/repository/theses/2010-Prinsen-MsC.pdf>
- Profile. 2013. Hydraulic Mulch. [en línea] <http://www.profilevs.com/productpage/hydraulic-mulch>
- Profile Products. 2008. *Hoja tecnica Flexterra FGM*. [en línea] <http://www.geocon.com.gt/pdfs/hoja-tecnica-flexterra.pdf>
- Quesada, G., y Méndez, C. 2005. Evaluación de sustratos para almácigos de hortalizas. *Agronomía Mesoamericana*, 16(2), 171–183.
- Roca, G., Glauco, C., Olivares, E., y Barbosa, L. 2006. Caracterización del bagazo de la caña de azúcar. Parte I: características físicas. In *Encontro de Energia no Meio Rural* (p. 10). Campinas, Brasil. [en línea] http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022006000100037&script=sci_arttext
- Rodríguez, O. 2010. *Conservación de suelos y agua: una premisa del desarrollo sustentable*. (Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico UCV, Ed.). Caracas.
- Scavo, M., Rodríguez, O., y Luque, O. 2005. Estudio de un sistema de tratamiento de aguas residuales complementario, con pasto vetiver (*Vetiveria zizanioides* L.), provenientes de una planta de producción de gaseosas, en Villa de Cura, Estado Aragua. [en línea] <http://www.vetiver.org/ICV4pdfs/BA17es.pdf>
- Scholl, B., Holt, G., y Thornton, C. 2012. Screening study of select cotton-based hydromulch blends produced using the Cross-Linked biofiber process. *Journal of Cotton Science*, 16(4), 249–254. [en línea] <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84872843824&partnerID=40&md5=6b979526422738d55a4a235a3943be04>
- Serrano, T., Borrachero, M., Monzó, J., y Payá, J. 2012. Morteros aligerados con cascarilla de arroz: Diseño de mezclas y evaluación de propiedades. *Dyna*, 79(175), 128–136. [en línea] <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v79n175/v79n175a15.pdf>
- Suárez, J. 2001. *Control de erosión en zonas tropicales*. (Universidad Industrial de Santander, Ed.). Bucaramanga, Colombia.
- Tejada, B., y Rodríguez, O. 1989. Metodologías para evaluar la cobertura de residuos en el control de la erosión. *Alcance*, (37), 149–167.

- Tormo, J., Bochet, E., y García, P. 2009. Restauración y revegetación de taludes de carreteras en ambientes mediterráneos semiáridos: procesos edáficos determinantes para el éxito. *Ecosistemas*, 18(2), 79–90. [en línea] <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=602>
- Valladares, F., Balaguer, L., Mola, I., Escudero, A., y Alfaya, V. 2011. *Restauración ecológica de áreas afectadas por infraestructuras de transporte*. (F. Valladares, L. Balaguer, I. Mola, A. Escudero, & V. Alfaya, Eds.). Madrid, España: Fundación Biodiversidad.
- Valverde, A., Sarria, B., y Monteagudo, J. 2007. Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz. *Scientia et Technica*, 5(37).
- Vargas, J., Alvarado, P., Vega Baudrit, J., y Porras, M. 2013. Caracterización del subproducto cascarilla de arroz en búsqueda de posibles aplicaciones como materia prima en procesos. *Revista Científica*, 23(1), 87–102.
- VIFINEX. 2002. *Producción de sustratos para viveros. Proyecto regional de fortalecimiento de la vigilancia fitosanitaria en cultivos de exportación no tradicional*. Costa Rica.
- Wiegand, H. 1999. *Efecto de utilización de acícula de pino, corteza de pino, paja de guano de caballo y guano de pavo sobre la productividad del palto (Persea americana Mill) cv. Hass*. Quillota, Chile.

Anexo 1. Disposición de las bandejas tipo A y tipo B sobre los mesones del invernadero durante el ensayo.



Anexo 2. Formato de registro semanal de datos de bandejas A.

Tesis "Evaluación de fibras con fines de hidrosiembra"

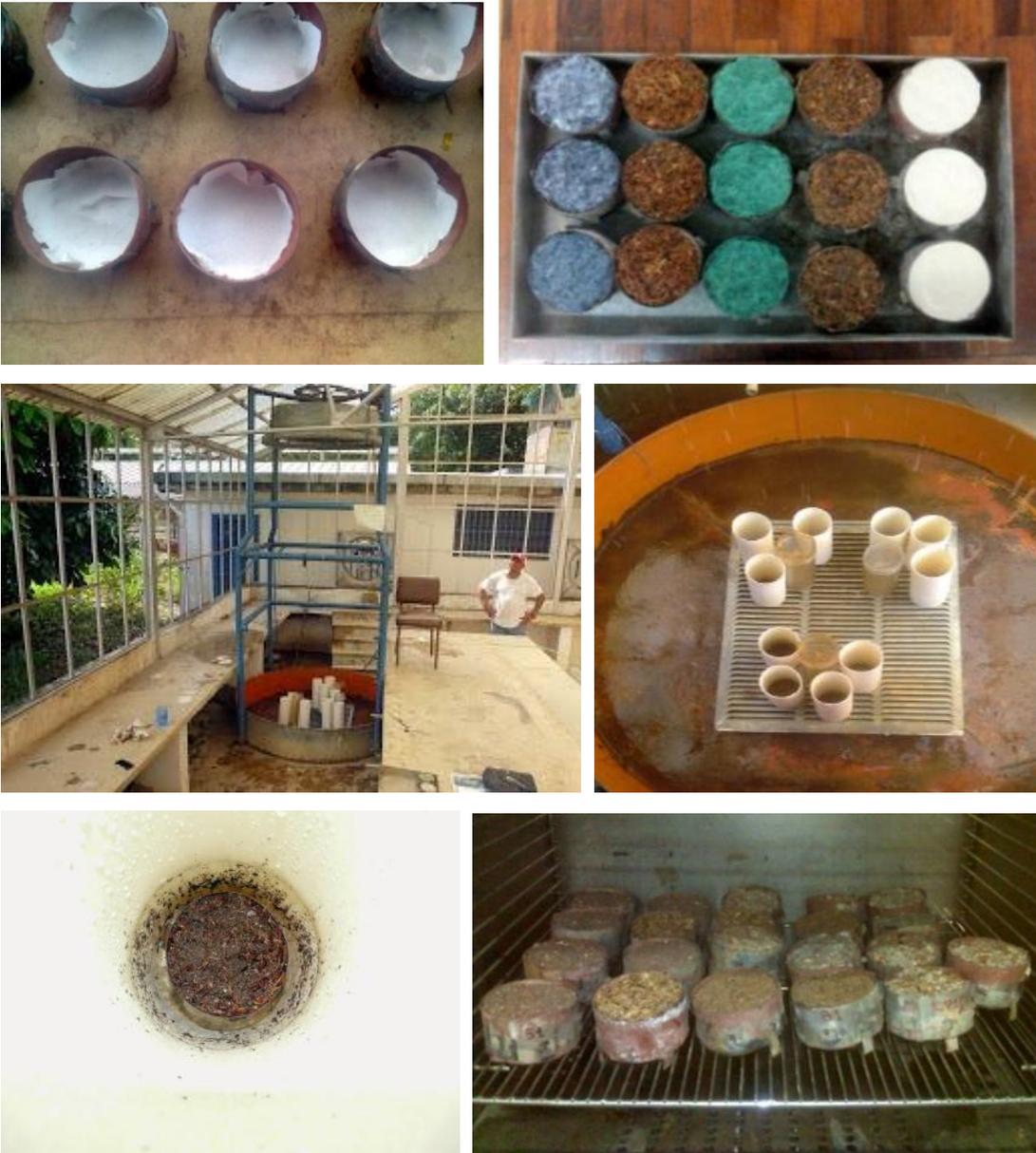
Arturo García

Registro bandejas Tipo A

Fecha:

Nº	tratamiento	Nº plántulas	Tamaño plántulas				Nº de hojas				observaciones
1	BC ₃										
2	NRP ₃										
3	F ₁										
4	B ₃										
5	V ₃										
6	VAP ₁										
7	C ₁										
8	A ₃										
9	VAP ₂										
10	C ₃										
11	CP ₂										
12	F ₃										
13	BC ₂										
14	A ₂										
15	NRP ₁										
16	F ₂										
17	S ₂										
18	V ₂										
19	B ₂										
20	C ₂										
21	BC ₁										
22	B ₁										
23	NRP ₂										
24	CP ₁										
25	V ₁										
26	S ₃										
27	A ₁										
28	CP ₃										
29	S ₁										
30	VAP ₃										

Anexo 3. Detalles sobre la preparación de las mezclas de hidrosiembra y desarrollo de los tratamientos en copas de salpicadura.



Leyenda: de izquierda a derecha y de arriba a abajo:

- a) Copas de salpicadura sin el sustrato ni la mezcla de hidrosiembra.
- b) Copas de salpicadura con los tratamientos.
- c) Simulador de lluvia de alta intensidad del Laboratorio de Suelos FAGRO-UCV.
- d) Detalle sobre aplicación de lluvia de alta intensidad sobre las copas.
- e) Detalle sobre separabilidad de material al aplicar la lluvia simulada
- f) Copas en estufa para calcular p_2 .

Anexo 4. Detalles sobre la preparación de las mezclas de hidrosiembra y desarrollo de los tratamientos en bandejas tipo A.



Leyenda: de izquierda a derecha y de arriba a abajo:

- a) Bandejas tipo A con el sustrato.
- b) Preparación de mezcla de hidrosiembra para bandejas tipo A.
- c) Aplicación de mezcla de hidrosiembra sobre la superficie del sustrato.
- d) Distribución de bandejas A sobre los mesones del invernadero.
- e) Crecimiento vegetativo en las bandejas tipo A después de 5 semanas.
- f) Cosecha de materia fresca a las ocho semanas.

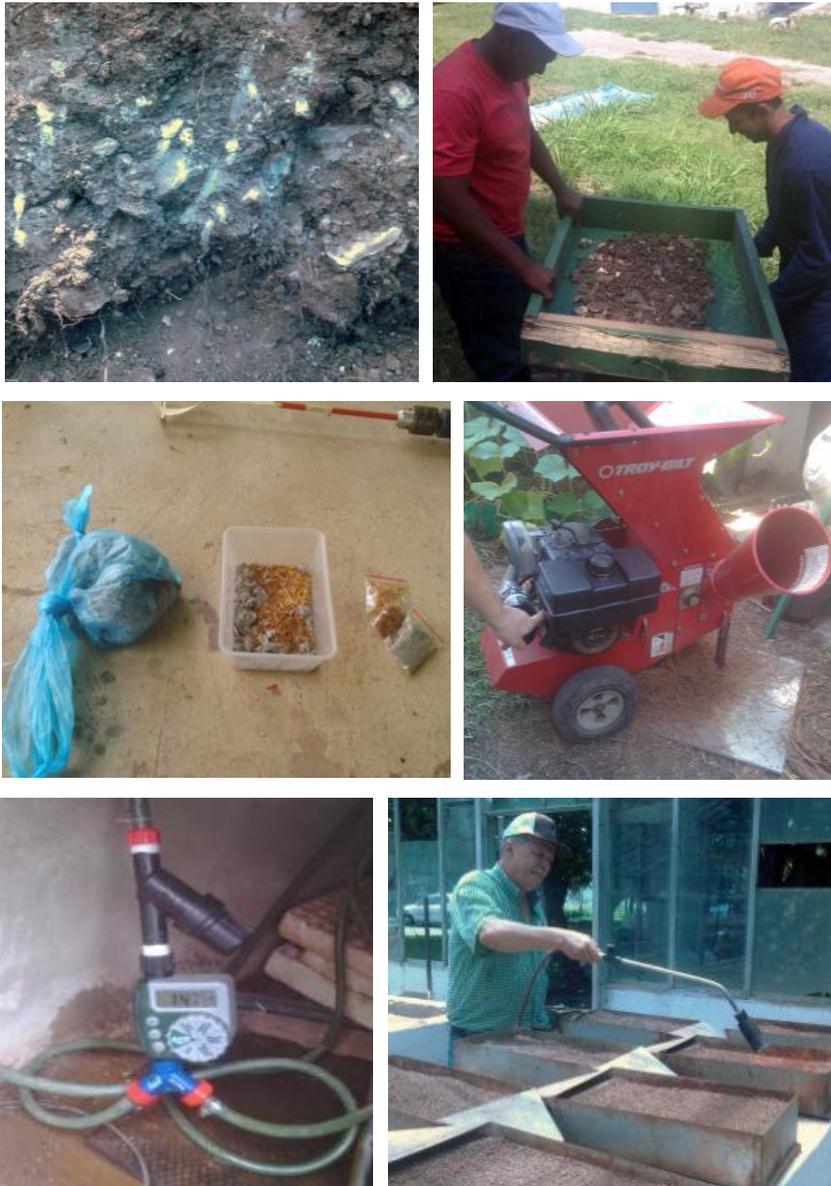
Anexo 5. Detalles sobre la preparación de las mezclas de hidrosiembra y desarrollo de los tratamientos en bandejas tipo B.



Leyenda: de izquierda a derecha y de arriba a abajo:

- Bandejas tipo B con rejilla sobre la superficie del sustrato.
- Detalle sobre la mezcla de hidrosiembra a aplicar en bandeja tipo B.
- Distribución de las bandejas tipo B en el mesón del invernadero.
- Detalle sobre medición de cobertura.
- Secado en estufa del material residual de las bandejas tipo B.
- Pesaje de material residual de bandejas tipo B después de secado en estufa.

Anexo 6. Detalles adicionales sobre el montaje y desarrollo de los experimentos.



Leyenda: de izquierda a derecha y de arriba a abajo:

- a) Pie de monte de la Formación Las Mercedes. Abundancia de esquistos calcáreos.
- b) Cernido a 4 mm del sustrato.
- c) Comparación entre cantidades de fibra a utilizar en bandejas tipo A, bandejas tipo B y copas de salpicadura.
- d) Máquina trituradora de jardín procesando las fibras.
- g) .Filtro y reloj del sistema de riego, programado para regar cada 8 horas.
- h) Control físico de malezas con calor.

Anexo 7. Cálculo del Índice de separabilidad (Is) del sustrato utilizado.

copas	superficie (cm ²)	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Mf-Mi (g)	Intensidad de lluvia (mm.h ⁻¹)	g.(cm ² .mm.h ⁻¹) ⁻¹	Promedio Pérdidas	Is
ST ₁	50,27	345,09	329,23	15,86	72,60	0,00435		
ST ₂	50,27	367,95	347,97	19,98	94,80	0,00419	0,00377	0,93
ST ₃	50,27	354,45	342,16	12,29	88,20	0,00277		
AE ₁	50,27	397,02	384,52	12,50	83,40	0,00298		
AE ₂	50,27	402,65	382,02	20,63	78,00	0,00526	0,00405	-
AE ₃	50,27	401,43	384,18	17,25	87,60	0,00392		

Anexo 8. Pérdidas de hidrocobertura por impacto de la gota de lluvia de alta intensidad en copas de salpicadura. Cálculo del Factor de separabilidad (Fs) de los tratamientos.

copas	superficie (cm²)	Masa inicial (g)	Masa final (g)	diferencia (g)	Intensidad de lluvia (mm.h⁻¹)	g.cm⁻².mm⁻¹.h	Promedio Pérdidas por tratamiento	Fs
A₁	50,27	356,20	355,75	0,45	78,00	0,00011		
A₂	50,27	374,11	373,90	0,21	88,80	0,00005	0,00006	0,02
A₃	50,27	342,82	342,72	0,10	89,40	0,00002		
B₁	50,27	324,51	315,32	9,19	72,60	0,00252		
B₂	50,27	343,77	335,61	8,16	69,00	0,00235	0,00262	0,70
B₃	50,27	351,58	340,74	10,84	72,00	0,00300		
BC₁	50,27	358,20	353,27	4,93	78,00	0,00126		
BC₂	50,27	355,27	348,08	7,19	88,80	0,00161	0,00134	0,35
BC₃	50,27	360,24	355,10	5,14	89,40	0,00114		
C₁	50,27	394,94	391,81	3,13	83,40	0,00075		
C₂	50,27	337,38	336,07	1,31	88,80	0,00029	0,00052	0,14
C₃	50,27	319,94	317,64	2,30	87,60	0,00052		
CP₁	50,27	353,43	344,99	8,44	72,60	0,00231		
CP₂	50,27	335,94	329,27	6,67	94,80	0,00140	0,00191	0,51
CP₃	50,27	328,33	321,04	7,29	72,00	0,00201		
F₁	50,27	364,38	364,28	0,10	83,40	0,00002		
F₂	50,27	362,52	362,52	0,00	88,80	0,00000	0,00003	0,01
F₃	50,27	345,52	345,26	0,26	89,40	0,00006		
NRP₁	50,27	355,51	349,91	5,60	94,80	0,00118		
NRP₂	50,27	332,19	329,76	2,43	69,00	0,00070	0,00079	0,21
NRP₃	50,27	354,82	352,66	2,16	88,20	0,00049		
S₁	50,27	340,42	332,39	8,03	72,60	0,00220		
S₂	50,27	314,36	305,49	8,87	72,00	0,00245	0,00203	0,54
S₃	50,27	339,77	333,34	6,43	88,20	0,00145		
ST₁	50,27	345,09	329,23	15,86	72,60	0,00435		
ST₂	50,27	367,95	347,97	19,98	94,80	0,00419	0,00377	1,00
ST₃	50,27	354,45	342,16	12,29	88,20	0,00277		
V₁	50,27	346,58	342,05	4,53	88,20	0,00102		
V₂	50,27	332,25	328,89	3,36	94,80	0,00071	0,00094	0,25
V₃	50,27	346,61	342,65	3,96	72,60	0,00109		
VAP₁	50,27	345,87	341,51	4,36	69,00	0,00126		
VAP₂	50,27	350,89	347,64	3,25	72,60	0,00089	0,00132	0,35
VAP₃	50,27	347,64	341,07	6,57	72,60	0,00180		

Anexo 9. Análisis estadístico de la variable Fs de los tratamientos.

Prueba de Normalidad Shapiro-Wilk				
Variable	Tratamientos	Estadístico	gl	Sig.*
Factor de separabilidad (Fs)	S	0,928	3	0,482
	A	0,750	3	0,000
	B	0,947	3	0,554
	BC	0,912	3	0,424
	C	1,000	3	1,000
	CP	0,964	3	0,637
	F	1,000	3	1,000
	NRP	0,964	3	0,637
	V	0,893	3	0,363
	VAP	0,980	3	0,726

Prueba de homogeneidad de varianzas			
Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.†
3,453	10	22	0,007

ANOVA de un factor					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.‡
Inter-grupos	2,685	10	0,269	23,135	0,000
Intra-grupos	0,255	22	0,012		
Total	2,940	32			

* valores de significancia mayores a 0,05 indican Normalidad de las observaciones.

† valores de significancia mayores a 0,05 indican homogeneidad de varianzas.

‡ valores de significancia mayores a 0,05 indican que no existen diferencias significativas entre los tratamientos.

Anexo 10. Porcentajes de cobertura inicial de las mezclas medido en las bandejas tipo A. Mediciones con Grilla y programa CobCal.

Bandejas A	Grilla	CobCal
A₁	92,0%	96,0%
A₂	100,0%	96,3%
A₃	96,0%	92,0%
B₁	74,0%	75,7%
B₂	78,0%	80,7%
B₃	72,0%	76,8%
BC₁	64,0%	61,6%
BC₂	72,0%	68,1%
BC₃	64,0%	66,0%
C₁	88,0%	87,1%
C₂	82,0%	84,3%
C₃	80,0%	77,2%
CP₁	94,0%	91,7%
CP₂	92,0%	86,9%
CP₃	94,0%	91,0%
F₁	94,0%	91,6%
F₂	94,0%	95,3%
F₃	86,0%	92,2%
NRP₁	100,0%	95,5%
NRP₂	96,0%	91,5%
NRP₃	94,0%	93,9%
S₁	0,0%	0,0%
S₂	0,0%	0,0%
S₃	0,0%	0,0%
V₁	84,0%	82,2%
V₂	80,0%	76,8%
V₃	74,0%	76,7%
VAP₁	96,0%	95,0%
VAP₂	100,0%	97,3%
VAP₃	96,0%	93,2%

Anexo 11. Análisis estadístico de la variable Cobertura de las mezclas. Mediciones con Grilla y CobCal.

Prueba de Shapiro-Wilk para evaluar Normalidad de los datos

Variable	Tratamientos	Estadístico	gl	Sig.*
Medición de %CM con Grilla	A	1,000	3	1,000
	B	0,964	3	0,637
	BC	0,750	3	0,000
	C	0,923	3	0,463
	CP	0,750	3	0,000
	F	0,750	3	0,000
	NRP	0,964	3	0,637
	V	0,987	3	0,780
	VAP	0,750	3	0,000
Medición de %CM con CobCal	A	0,750	3	0,000
	B	0,893	3	0,363
	BC	0,964	3	0,637
	C	0,949	3	0,567
	CP	0,893	3	0,363
	F	0,750	3	0,000
	NRP	0,987	3	0,780
	V	0,750	3	0,000
	VAP	1,000	3	1,000

Prueba de homogeneidad de varianzas

Variable	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.†
Grilla	1,825	9	20	0,126
CobCal	1,958	9	20	0,101

ANOVA de un factor

Variable		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.‡
Grilla	Inter-grupos	2,314	9	0,257	202,966	0,000
	Intra-grupos	0,025	20	0,001		
	Total	2,339	29			
CobCal	Inter-grupos	2,232	9	0,248	323,469	0,000
	Intra-grupos	0,015	20	0,001		
	Total	2,247	29			

* valores de significancia mayores a 0,05 indican Normalidad de las observaciones.

† valores de significancia mayores a 0,05 indican homogeneidad de varianzas.

‡ valores de significancia mayores a 0,05 indican que no existen diferencias significativas entre los tratamientos.

Anexo 12. Nº de plántulas germinadas en cada bandeja tipo A lo largo del ensayo.

Bandejas A	Germinación					Sobrevivencia	Máxima germinación
	8 días	16 días	24 días	31 días	40 días	56 días	
A₁	44	49	43	37	37	43	49
A₂	17	25	22	24	28	25	28
A₃	37	42	47	42	42	37	47
B₁	23	106	105	100	100	91	106
B₂	27	81	87	85	94	84	94
B₃	65	99	86	99	94	88	99
BC₁	73	123	120	103	100	105	123
BC₂	98	100	101	101	101	98	101
BC₃	111	118	98	100	99	94	118
C₁	87	126	122	117	117	98	126
C₂	106	106	105	103	103	101	106
C₃	92	117	119	116	117	117	119
CP₁	108	100	100	102	98	81	108
CP₂	113	111	113	112	112	111	113
CP₃	98	111	111	108	101	92	111
F₁	71	72	69	71	68	63	72
F₂	108	112	113	103	105	106	113
F₃	87	90	87	92	92	87	92
NRP₁	79	81	88	84	84	71	88
NRP₂	98	99	100	99	98	88	100
NRP₃	59	74	82	96	90	64	96
S₁	106	112	116	111	110	100	116
S₂	108	106	105	113	104	104	113
S₃	125	140	125	131	113	110	140
V₁	83	92	85	85	89	74	92
V₂	101	102	94	91	91	100	102
V₃	91	104	91	100	93	79	104
VAP₁	78	83	62	81	80	74	83
VAP₂	79	89	85	74	70	67	89
VAP₃	85	92	94	86	84	80	94

Anexo 13. Análisis estadístico de las variables % de germinación y sobrevivencia de plántulas.

Prueba de Normalidad Shapiro-Wilk				
Variable	Fibras	Estadístico	gl	Sig.*
Germinación 8 días	S	0,828	3	0,183
	A	0,928	3	0,482
	B	0,821	3	0,165
	BC	0,968	3	0,656
	C	0,930	3	0,490
	CP	0,964	3	0,637
	F	0,994	3	0,851
	NRP	1,000	3	0,972
	V	0,996	3	0,878
	VAP	0,855	3	0,253
Germinación 16 días	S	0,878	3	0,317
	A	0,945	3	0,549
	B	0,939	3	0,525
	BC	0,904	3	0,398
	C	0,997	3	0,890
	CP	0,750	3	0,000
	F	0,997	3	0,890
	NRP	0,939	3	0,525
	V	0,871	3	0,298
	VAP	0,964	3	0,637
Germinación 24 días	S	0,997	3	0,890
	A	0,866	3	0,286
	B	0,789	3	0,089
	BC	0,850	3	0,241
	C	0,878	3	0,317
	CP	0,862	3	0,274
	F	0,989	3	0,800
	NRP	0,964	3	0,637
	V	0,964	3	0,637
	VAP	0,940	3	0,527
Germinación 31 días	S	0,824	3	0,174
	A	0,938	3	0,520
	B	0,800	3	0,114
	BC	0,964	3	0,637
	C	0,803	3	0,122

* valores de significancia mayores a 0,05 indican Normalidad de las observaciones.

	CP	0,987	3	0,780
	F	0,968	3	0,659
	NRP	0,893	3	0,363
	V	0,987	3	0,780
	VAP	0,991	3	0,817
	S	0,964	3	0,637
	A	0,974	3	0,688
	B	0,750	3	0,000
	BC	1,000	3	1,000
Germinación 40 días	C	0,750	3	0,000
	CP	0,902	3	0,391
	F	0,971	3	0,675
	NRP	0,993	3	0,843
	V	1,000	3	1,000
	VAP	0,942	3	0,537
	S	0,987	3	0,780
	A	0,964	3	0,637
	B	0,993	3	0,843
	BC	0,976	3	0,702
Sobrevivencia 56 días	C	0,865	3	0,281
	CP	0,977	3	0,708
	F	0,996	3	0,872
	NRP	0,945	3	0,549
	V	0,888	3	0,348
	VAP	0,998	3	0,915
	S	0,832	3	0,194
	A	0,821	3	0,165
	B	0,991	3	0,817
	BC	0,910	3	0,417
Máxima Germinación	C	0,971	3	0,672
	CP	0,987	3	0,780
	F	1,000	3	0,973
	NRP	0,964	3	0,637
	V	0,871	3	0,298
	VAP	0,997	3	0,900

Prueba de homogeneidad de varianzas

Variables	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.*
Germinación 8 días	1,380	9	20	0,261
Germinación 16 días	1,215	9	20	0,340
Germinación 24 días	1,259	9	20	0,317
Germinación 31 días	1,750	9	20	0,142
Germinación 40 días	2,886	9	20	0,023
Sobrevivencia 56 días	1,568	9	20	0,192
Máxima Germinación	1,675	9	20	0,161

ANOVA de un factor

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.†
Germinación 8 días	Inter-grupos	19072,033	9	2119,115	9,670	0,000
	Intra-grupos	4382,667	20	219,133		
	Total	23454,700	29			
Germinación 16 días	Inter-grupos	14723,200	9	1635,911	10,453	0,000
	Intra-grupos	3130,000	20	156,500		
	Total	17853,200	29			
Germinación 24 días	Inter-grupos	14058,833	9	1562,093	10,174	0,000
	Intra-grupos	3070,667	20	153,533		
	Total	17129,500	29			
Germinación 31 días	Inter-grupos	14688,133	9	1632,015	20,728	0,000
	Intra-grupos	1574,667	20	78,733		
	Total	16262,800	29			
Germinación 40 días	Inter-grupos	12842,133	9	1426,904	21,565	0,000
	Intra-grupos	1323,333	20	66,167		
	Total	14165,467	29			

* valores de significancia mayores a 0,05 indican homogeneidad de varianzas.

† valores de significancia mayores a 0,05 indican que no existen diferencias significativas entre los tratamientos.

Sobrevivencia 56 días	Inter-grupos	11507,867	9	1278,652	9,566	0,000
	Intra-grupos	2673,333	20	133,667		
	Total	14181,200	29			
Máxima Germinación	Inter-grupos	14245,200	9	1582,800	13,629	0,000
	Intra-grupos	2322,667	20	116,133		
	Total	16567,867	29			

Anexo 14. Cobertura vegetal (%) en bandejas tipo A durante el ensayo.

Bandejas A	8 días	11 días	16 días	24 días	31 días	40 días	50 días	56 días
A ₁	2,6	7,6	27,4	39,6	58,4	65,9	85,5	77,0
A ₂	1,0	3,1	8,3	13,2	25,8	55,0	63,2	62,8
A ₃	2,1	5,2	11,2	23,0	30,7	45,0	54,0	61,2
B ₁	0,6	1,8	7,1	26,4	68,1	68,4	67,7	74,5
B ₂	0,8	2,4	8,0	26,3	55,5	65,1	77,1	64,1
B ₃	3,7	8,1	23,0	39,6	61,7	74,2	79,1	79,2
BC ₁	3,8	7,1	19,2	41,7	63,0	68,8	76,9	61,7
BC ₂	5,9	17,9	42,5	69,1	71,9	77,3	80,1	72,8
BC ₃	7,4	17,2	42,8	67,2	69,7	73,1	82,9	79,9
C ₁	3,6	7,0	23,2	51,3	72,6	82,4	82,2	78,9
C ₂	15,0	17,5	34,4	53,1	75,0	79,0	85,3	77,8
C ₃	4,9	10,7	30,8	57,8	72,6	84,7	84,6	82,2
CP ₁	10,5	20,4	45,8	52,5	59,5	60,0	75,1	69,0
CP ₂	10,6	21,8	41,9	72,0	71,1	78,2	79,7	73,5
CP ₃	6,0	20,1	27,0	54,8	73,3	79,8	86,7	82,1
F ₁	5,9	13,6	31,3	53,7	65,3	67,3	79,0	80,4
F ₂	8,9	22,5	33,6	54,0	66,9	80,1	78,6	69,5
F ₃	7,3	16,9	36,4	59,0	57,7	76,7	73,2	74,5
NRP ₁	5,4	11,4	33,8	57,1	56,9	67,2	67,0	68,0
NRP ₂	9,2	20,6	37,5	54,3	67,2	71,2	74,8	72,5
NRP ₃	2,0	5,2	10,1	39,6	52,5	53,9	58,4	65,4
S ₁	8,7	21,3	42,7	60,7	74,7	77,8	85,5	83,0
S ₂	10,3	21,7	35,5	65,5	71,7	77,3	76,7	78,2
S ₃	5,8	15,7	36,4	60,0	71,7	80,1	82,7	81,1
V ₁	5,4	14,0	37,4	64,7	70,5	78,6	86,4	86,5
V ₂	5,7	15,3	36,9	62,0	74,7	82,1	84,4	78,2
V ₃	5,5	14,2	35,1	58,5	65,5	71,4	73,2	76,5
VAP ₁	5,3	16,0	25,6	54,3	63,1	67,2	64,5	61,6
VAP ₂	4,2	12,5	21,4	41,7	60,1	62,3	72,2	72,6
VAP ₃	7,1	19,8	51,3	53,6	64,2	75,2	72,5	75,1

Anexo 15. Análisis estadístico de la variable cobertura vegetal (%) durante el ensayo.

Pruebas de normalidad Shapiro-Wilk				
Variable	Fibras	Estadístico	gl	Sig.*
%CV 8 días	S	0,971	3	0,675
	A	0,940	3	0,525
	B	0,805	3	0,127
	BC	0,995	3	0,859
	C	0,838	3	0,209
	CP	0,765	3	0,033
	F	0,997	3	0,900
	NRP	0,999	3	0,928
	V	0,997	3	0,893
	VAP	0,976	3	0,702
%CV 11 días	S	0,802	3	0,120
	A	0,998	3	0,912
	B	0,814	3	0,149
	BC	0,796	3	0,106
	C	0,972	3	0,677
	CP	0,875	3	0,311
	F	0,980	3	0,727
	NRP	0,988	3	0,790
	V	0,830	3	0,189
	VAP	0,999	3	0,952
%CV 16 días	S	0,842	3	0,220
	A	0,863	3	0,277
	B	0,791	3	0,094
	BC	0,759	3	0,019
	C	0,959	3	0,613
	CP	0,897	3	0,377
	F	0,998	3	0,912
	NRP	0,850	3	0,240
	V	0,912	3	0,424
	VAP	0,852	3	0,247
%CV 24 días	S	0,840	3	0,214
	A	0,979	3	0,720
	B	0,760	3	0,021
	BC	0,803	3	0,121
	C	0,940	3	0,528
	CP	0,837	3	0,206
	F	0,786	3	0,081
	NRP	0,867	3	0,287
	V	0,993	3	0,838
	VAP	0,793	3	0,099
%CV 31 días	S	0,757	3	0,016
	A	0,861	3	0,269
	B	1,000	3	0,983

* valores de significancia mayores a 0,05 indican Normalidad de las observaciones.

	BC	0,918	3	0,446
	C	0,763	3	0,028
	CP	0,864	3	0,278
	F	0,875	3	0,310
	NRP	0,950	3	0,568
	V	0,997	3	0,900
	VAP	0,935	3	0,507
<hr/>				
%CV 40 días	S	0,876	3	0,312
	A	0,999	3	0,948
	B	0,973	3	0,688
	BC	1,000	3	0,994
	C	0,987	3	0,779
	CP	0,808	3	0,134
	F	0,930	3	0,487
	NRP	0,912	3	0,425
	V	0,962	3	0,626
	VAP	0,982	3	0,744
<hr/>				
%CV 50 días	S	0,958	3	0,606
	A	0,946	3	0,550
	B	0,874	3	0,307
	BC	0,999	3	0,936
	C	0,905	3	0,401
	CP	0,987	3	0,780
	F	0,812	3	0,144
	NRP	0,999	3	0,948
	V	0,858	3	0,261
	VAP	0,780	3	0,068
<hr/>				
%CV 56 días	S	0,985	3	0,762
	A	0,826	3	0,179
	B	0,954	3	0,586
	BC	0,984	3	0,755
	C	0,931	3	0,491
	CP	0,970	3	0,668
	F	0,997	3	0,900
	NRP	0,975	3	0,697
	V	0,869	3	0,293
	VAP	0,883	3	0,335

Prueba de homogeneidad de varianzas

	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig. [*]
%CV 8 días	3,835	9	20	0,006
%CV 11 días	1,969	9	20	0,099
%CV 16 días	3,816	9	20	0,006
%CV 24 días	3,152	9	20	0,016
%CV 31 días	4,509	9	20	0,002
%CV 40 días	1,703	9	20	0,154
%CV 50 días	2,710	9	20	0,030
%CV 56 días	1,358	9	20	0,270

ANOVA de un factor

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig. [†]
%CV 2 días	Inter-grupos	,000	9	,000	1,390	,257
	Intra-grupos	,000	20	,000		
	Total	,000	29			
%CV 8 días	Inter-grupos	,017	9	,002	2,473	,044
	Intra-grupos	,015	20	,001		
	Total	,031	29			
%CV 11 días	Inter-grupos	,082	9	,009	4,860	,002
	Intra-grupos	,038	20	,002		
	Total	,120	29			
%CV 16 días	Inter-grupos	,221	9	,025	2,434	,047
	Intra-grupos	,202	20	,010		
	Total	,422	29			
%CV 24 días	Inter-grupos	,446	9	,050	6,521	,000
	Intra-grupos	,152	20	,008		
	Total	,598	29			
%CV 31 días	Inter-grupos	,279	9	,031	5,779	,001
	Intra-grupos	,107	20	,005		
	Total	,387	29			
%CV 40 días	Inter-grupos	,162	9	,018	3,776	,006
	Intra-grupos	,095	20	,005		
	Total	,257	29			
%CV 50 días	Inter-grupos	,107	9	,012	2,326	,056
	Intra-grupos	,103	20	,005		
	Total	,210	29			
%CV 56 días	Inter-grupos	,067	9	,007	1,870	,117
	Intra-grupos	,080	20	,004		
	Total	,147	29			

* valores de significancia mayores a 0,05 indican homogeneidad de varianzas.

† valores de significancia mayores a 0,05 indican que no existen diferencias significativas entre los tratamientos.

Anexo 16. Altura promedio de cinco plántulas por bandeja Tipo A durante el ensayo.

Bandejas A	11 días	16 días	24 días	31 días	40 días	56 días
A₁	1,4	2,6	11,6	19,5	27,8	53,2
A₂	1,5	2,8	13,2	19,2	30,2	57,8
A₃	1,3	2,3	9,8	11,4	17,6	29,0
B₁	0,8	1,8	8,0	14,6	19,0	34,8
B₂	1,0	2,2	9,6	16,6	23,6	42,5
B₃	1,2	2,6	11,2	15,8	21,2	36,0
BC₁	1,0	2,3	10,2	12,9	18,8	34,0
BC₂	1,2	2,7	10,5	13,3	18,4	30,4
BC₃	1,9	3,6	15,5	15,8	20,4	37,4
C₁	0,8	2,0	8,6	13,4	20,0	32,5
C₂	1,3	2,8	12,4	14,5	21,8	31,8
C₃	1,1	2,5	9,1	15,5	22,8	36,2
CP₁	1,7	3,4	10,3	12,4	14,5	24,7
CP₂	2,2	3,9	14,3	15,1	24,8	34,0
CP₃	1,6	3,0	8,9	15,0	24,8	39,8
F₁	2,6	4,3	12,2	16,6	25,6	40,6
F₂	2,5	3,8	12,2	17,0	26,3	42,3
F₃	1,8	3,6	13,9	16,8	21,4	32,0
NRP₁	1,5	2,9	10,0	13,8	16,9	31,6
NRP₂	2,4	3,5	10,8	13,7	18,8	28,8
NRP₃	0,8	1,6	6,5	12,3	19,1	30,8
S₁	1,5	3,2	10,4	14,0	17,2	34,5
S₂	2,4	3,9	10,9	12,2	22,8	36,4
S₃	1,0	2,2	10,3	15,0	17,8	27,0
V₁	1,5	3,2	12,6	17,9	27,2	48,0
V₂	1,7	3,5	12,6	16,6	26,0	43,6
V₃	2,0	3,5	11,9	16,0	22,5	40,2
VAP₁	1,8	3,6	13,1	16,3	20,4	35,2
VAP₂	1,4	2,6	8,1	13,5	19,3	33,0
VAP₃	1,5	3,0	11,3	15,6	23,4	42,6

Anexo 17. Análisis estadístico de la variable Altura (Ap) en todos tratamientos a lo largo del ensayo.

Prueba de Normalidad Shapiro-Wilk				
Variable	tratamiento	Estadístico	gl	Sig.*
11 días	S	0,974	3	0,688
	A	1,000	3	1,000
	B	1,000	3	1,000
	BC	0,907	3	0,407
	C	0,987	3	0,780
	CP	0,871	3	0,298
	F	0,842	3	0,220
	NRP	0,995	3	0,862
	V	0,987	3	0,780
	VAP	0,923	3	0,463
16 días	S	0,990	3	0,806
	A	0,987	3	0,780
	B	1,000	3	1,000
	BC	0,953	3	0,583
	C	0,980	3	0,726
	CP	0,996	3	0,878
	F	0,942	3	0,537
	NRP	0,957	3	0,600
	V	0,750	3	0,000
	VAP	0,987	3	0,780
24 días	S	0,871	3	0,298
	A	0,999	3	0,935
	B	1,000	3	1,000
	BC	0,792	3	0,096
	C	0,847	3	0,232
	CP	0,928	3	0,482
	F	0,750	3	0,000
	NRP	0,884	3	0,336
	V	0,750	3	0,000
	VAP	0,975	3	0,694
31 días	S	0,974	3	0,688
	A	0,778	3	0,062
	B	0,987	3	0,780
	BC	0,851	3	0,244
	C	0,999	3	0,948
	CP	0,778	3	0,062

* valores de significancia mayores a 0,05 indican Normalidad de las observaciones.

	F	1,000	3	1,000
	NRP	0,800	3	0,114
	V	0,957	3	0,600
	VAP	0,923	3	0,463
40 días	S	0,829	3	0,187
	A	0,887	3	0,344
	B	0,999	3	0,952
	BC	0,893	3	0,363
	C	0,974	3	0,688
	CP	0,750	3	0,000
	F	0,855	3	0,253
	NRP	0,850	3	0,241
	V	0,926	3	0,474
	VAP	0,933	3	0,501
56 días	S	0,894	3	0,367
	A	0,866	3	0,285
	B	0,864	3	0,278
	BC	1,000	3	0,968
	C	0,866	3	0,284
	CP	0,982	3	0,746
	F	0,870	3	0,295
	NRP	0,942	3	0,537
	V	0,995	3	0,859
	VAP	0,911	3	0,421

Prueba de homogeneidad de varianzas

Variable	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.*
11 días	1,927	9	20	0,106
16 días	1,43	9	20	0,241
24 días	2,229	9	20	0,065
31 días	5,457	9	20	0,001
40 días	4,039	9	20	0,004
56 días	3,967	9	20	0,005

ANOVA de un factor

Variable		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.†
11 días	Inter-grupos	3,828	9	0,425	2,258	0,062
	Intra-grupos	3,767	20	0,188		
	Total	7,595	29			
16 días	Inter-grupos	7,31	9	0,812	2,603	0,036
	Intra-grupos	6,24	20	0,312		
	Total	13,55	29			
24 días	Inter-grupos	39,567	9	4,396	1,118	0,395
	Intra-grupos	78,613	20	3,931		
	Total	118,18	29			
31 días	Inter-grupos	49,447	9	5,494	1,623	0,175
	Intra-grupos	67,687	20	3,384		
	Total	117,134	29			
40 días	Inter-grupos	170,795	9	18,977	1,623	0,176
	Intra-grupos	233,833	20	11,692		
	Total	404,628	29			
56 días	Inter-grupos	733,44	9	81,493	1,894	0,112
	Intra-grupos	860,527	20	43,026		
	Total	1593,967	29			

* valores de significancia mayores a 0,05 indican homogeneidad de varianzas.

† valores de significancia mayores a 0,05 indican que no existen diferencias significativas entre los tratamientos.

Anexo 18. Promedio de nº de hojas de 5 plántulas por bandeja tipo A durante el ensayo.

Bandejas A	11 días	16 días	24 días	31 días	40 días	56 días
A₁	3	3	5	6	5	5
A₂	2	3	5	6	6	6
A₃	2	3	4	4	5	4
B₁	2	3	4	5	5	4
B₂	2	3	4	5	6	5
B₃	2	3	4	5	5	5
BC₁	2	3	4	5	4	4
BC₂	2	3	4	4	4	4
BC₃	2	3	5	4	4	4
C₁	2	3	4	5	5	4
C₂	2	3	4	4	4	4
C₃	2	3	4	5	5	4
CP₁	2	3	4	4	4	4
CP₂	3	3	4	5	4	4
CP₃	2	3	4	5	6	4
F₁	3	4	4	4	5	4
F₂	3	3	4	5	5	4
F₃	2	3	5	4	4	4
NRP₁	2	3	4	4	4	4
NRP₂	3	3	4	4	4	4
NRP₃	2	3	4	4	5	4
S₁	2	3	4	4	4	4
S₂	3	3	4	4	4	4
S₃	2	3	4	5	5	4
V₁	2	3	5	5	5	4
V₂	2	3	4	4	4	4
V₃	2	3	4	5	5	4
VAP₁	2	4	5	5	4	4
VAP₂	2	3	4	5	5	5
VAP₃	2	3	4	5	5	4

Anexo 19. Prueba estadística No-Paramétrica de la variable N° de hojas por plántula a lo largo del ensayo, con un nivel de significancia del 0,05.

Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión
1	La distribución de N° hojas 1 semana es la misma entre las categorías de tipo de fibras.	Prueba Kruskal-Wallis de muestras independientes	,450	Retener la hipótesis nula.
2	La distribución de N° hojas 2 semana es la misma entre las categorías de tipo de fibras.	Prueba Kruskal-Wallis de muestras independientes	,506	Retener la hipótesis nula.
3	La distribución de N° hojas 3 semana es la misma entre las categorías de tipo de fibras.	Prueba Kruskal-Wallis de muestras independientes	,450	Retener la hipótesis nula.
4	La distribución de N° hojas 4 semana es la misma entre las categorías de tipo de fibras.	Prueba Kruskal-Wallis de muestras independientes	,291	Retener la hipótesis nula.
5	La distribución de N° hojas 6 semana es la misma entre las categorías de tipo de fibras.	Prueba Kruskal-Wallis de muestras independientes	,285	Retener la hipótesis nula.
6	La distribución de N° hojas 8 semana es la misma entre las categorías de tipo de fibras.	Prueba Kruskal-Wallis de muestras independientes	,086	Retener la hipótesis nula.

Anexo 20. Materia fresca y materia seca producida en las bandejas tipo A al final del ensayo. Cálculo de Biomasa aérea.

Bandeja A	Superficie (m²)	Materia fresca (g)	Materia seca (g)	Biomasa (Mg.ha⁻¹)
A₁	0,15	196,0	45,0	3,00
A₂	0,15	181,0	38,0	2,53
A₃	0,15	73,0	16,0	1,07
B₁	0,15	171,0	43,0	2,87
B₂	0,15	177,0	43,0	2,87
B₃	0,15	268,0	61,0	4,07
BC₁	0,15	197,0	49,0	3,27
BC₂	0,15	208,0	53,0	3,53
BC₃	0,15	253,0	62,0	4,13
C₁	0,15	309,0	67,0	4,47
C₂	0,15	221,0	54,0	3,60
C₃	0,15	286,0	67,0	4,47
CP₁	0,15	116,0	31,0	2,07
CP₂	0,15	196,0	52,0	3,47
CP₃	0,15	232,0	59,0	3,93
F₁	0,15	143,0	33,0	2,20
F₂	0,15	285,0	70,0	4,67
F₃	0,15	170,0	45,0	3,00
NRP₁	0,15	125,0	30,0	2,00
NRP₂	0,15	156,0	45,0	3,00
NRP₃	0,15	182,0	37,0	2,47
S₁	0,15	186,0	47,0	3,13
S₂	0,15	176,0	44,0	2,93
S₃	0,15	229,0	62,0	4,13
V₁	0,15	310,0	76,0	5,07
V₂	0,15	202,0	47,0	3,13
V₃	0,15	222,0	62,0	4,13
VAP₁	0,15	187,0	48,0	3,20
VAP₂	0,15	203,0	52,0	3,47
VAP₃	0,15	158,0	37,0	2,47

Anexo 21. Análisis estadístico de materia fresca y seca producida por los tratamientos al final del ensayo

Prueba de Normalidad Shapiro-Wilk				
variable	tratamiento	Estadístico	gl	Sig.*
Masa fresca	S	0,886	3	0,341
	A	0,840	3	0,214
	B	0,796	3	0,105
	BC	0,891	3	0,356
	C	0,929	3	0,486
	CP	0,954	3	0,588
	F	0,887	3	0,344
	NRP	0,997	3	0,903
	V	0,883	3	0,334
	VAP	0,973	3	0,684
Masa seca	S	0,871	3	0,298
	A	0,918	3	0,446
	B	0,750	3	0,000
	BC	0,953	3	0,583
	C	0,750	3	0,000
	CP	0,923	3	0,463
	F	0,960	3	0,618
	NRP	0,999	3	0,927
	V	0,971	3	0,672
	VAP	0,932	3	0,497

Prueba de homogeneidad de varianzas				
	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.†
Masa fresca	1,665	9	20	,164
Masa seca	1,340	9	20	,278

ANOVA de un factor						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.‡
Masa fresca	Inter-grupos	38464,533	9	4273,837	1,705	,153
	Intra-grupos	50122,667	20	2506,133		
	Total	88587,200	29			
Masa seca	Inter-grupos	2128,800	9	236,533	1,453	,232
	Intra-grupos	3256,000	20	162,800		
	Total	5384,800	29			

* valores de significancia mayores a 0,05 indican Normalidad de las observaciones.

† valores de significancia mayores a 0,05 indican homogeneidad de varianza.

‡ valores de significancia mayores a 0,05 indican que no existen diferencias significativas entre los tratamientos.

Anexo 22. Pérdidas en peso y en superficie de las mezclas.

Bandeja B	peso inicial (g)	peso final (g)	Pérdidas en peso (g)	% CM Inicial	% CM final	Pérdidas en cobertura (%)
A₁	5,10	3,29	1,81	96,8%	92,4%	4,4%
A₂	5,20	3,97	1,23	98,8%	96,6%	2,2%
A₃	5,20	3,75	1,45	98,7%	96,6%	2,1%
B₁	5,25	0,49	4,76	63,9%	25,0%	38,9%
B₂	5,30	0,31	4,99	70,8%	13,9%	57,0%
B₃	5,35	0,16	5,19	62,0%	13,9%	48,2%
BC₁	5,45	1,80	3,65	85,7%	55,9%	29,8%
BC₂	5,15	1,25	3,90	73,5%	41,5%	32,1%
BC₃	5,40	1,78	3,62	77,3%	51,8%	25,5%
C₁	5,18	3,64	1,54	87,8%	74,6%	13,2%
C₂	5,40	3,71	1,69	90,9%	69,6%	21,4%
C₃	5,31	3,22	2,09	85,1%	57,0%	28,1%
CP₁	5,10	4,34	0,76	92,5%	85,1%	7,4%
CP₂	5,05	4,28	0,77	94,3%	87,1%	7,2%
CP₃	5,32	4,77	0,55	98,7%	89,0%	9,7%
F₁	5,00	3,54	1,46	97,2%	96,6%	0,6%
F₂	5,00	3,46	1,54	98,5%	95,6%	2,9%
F₃	5,00	3,35	1,65	97,8%	95,6%	2,3%
NRP₁	5,20	4,50	0,70	95,2%	89,0%	6,2%
NRP₂	4,45	3,51	0,94	91,4%	88,4%	3,1%
NRP₃	4,35	3,63	0,72	95,7%	89,4%	6,3%
V₁	5,31	2,76	2,55	92,5%	70,3%	22,2%
V₂	5,10	2,24	2,86	91,5%	63,6%	28,0%
V₃	5,18	2,58	2,60	93,1%	70,3%	22,7%
VAP₁	4,55	3,49	1,06	96,3%	90,3%	6,0%
VAP₂	4,30	3,65	0,65	98,1%	88,5%	9,6%
VAP₃	4,35	3,66	0,69	93,9%	92,5%	1,4%

Anexo 23. Análisis estadístico de las variables pérdidas en peso y pérdidas en cobertura en las bandejas tipo B, en cada tratamiento.

Prueba de Normalidad Shapiro-Wilk				
Variable	Tratamiento	Estadístico	gl	Sig.*
Pérdidas en superficie	A	,770	3	,045
	B	1,000	3	,968
	BC	,968	3	,658
	C	,997	3	,896
	CP	,823	3	,170
	F	,936	3	,512
	NRP	,755	3	,010
	V	,817	3	,156
	VAP	,996	3	,872
	Pérdidas en masa	A	,974	3
B		,997	3	,891
BC		,756	3	,012
C		,868	3	,291
CP		,803	3	,121
F		,992	3	,826
NRP		,988	3	,788
V		,934	3	,503
VAP	,818	3	,158	

Prueba de homogeneidad de varianzas				
	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.†
Pérdidas en peso	,949	8	18	,503
Pérdidas en superficie	1,819	8	18	,139

ANOVA de un factor						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.‡
Pérdidas en peso	Inter-grupos	1,767	8	,221	122,695	,000
	Intra-grupos	,032	18	,002		
	Total	1,799	26			
Pérdidas en superficie	Inter-grupos	,584	8	,073	35,521	,000
	Intra-grupos	,037	18	,002		
	Total	,621	26			

* valores de significancia mayores a 0,05 indican Normalidad de las observaciones.

† valores de significancia mayores a 0,05 indican homogeneidad de varianzas.

‡ valores de significancia mayores a 0,05 indican que no existen diferencias significativas entre los tratamientos.