

ZAMORANO
CARRERA DE CIENCIA Y PRODUCCION AGROPECUARIA

Efecto de los acondicionadores de suelo y coberturas en el control de erosión en un cultivo intensivo mecanizado en la zona Atlántica de Costa Rica

Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo en el Grado Académico de Licenciatura

Presentado por:
Eduardo Gurdián Pacheco

Honduras
Diciembre, 2002

RESUMEN

Gurdián P., Eduardo. 2002. Efecto de los acondicionadores de suelo y coberturas en el control de erosión en un cultivo intensivo mecanizado en la zona Atlántica de Costa Rica. Proyecto Especial del Programa de Ingeniería en Ciencia y Producción Agropecuaria, Zamorano, Honduras.

La erosión hídrica, en interacción con un mal manejo e inadecuados planes de conservación de suelos, es la causante principal de la degradación del suelo en los sistemas agrícolas tropicales. Es importante definir y analizar los factores causantes de la erosión hídrica para poder establecer planes de manejo y de conservación de suelos. La Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (EUPS) nos permite cuantificar la erosión, analizar los factores que intervienen en la pérdida de suelo, definir y evaluar diferentes tácticas de conservación. Mediante la recolección y cuantificación de sedimento después de cada lluvia en parcelas de escorrentía, se evaluó la efectividad de las prácticas actuales de cultivo (testigo), el uso de polímeros sintéticos, compost, lignosulfonato y cobertura plástica en la reducción de erosión. Se realizó un análisis químico al suelo erosionado para una mejor evaluación de los tratamientos. Con el sedimento recolectado se calibró la EUPS a las condiciones de clima y suelo del área. El estudio se llevó a cabo en la zona Atlántica de Costa Rica bajo cultivo intensivo mecanizado durante las primeras etapas de desarrollo del cultivo. La erosión es mayor de 7 t/ha/año, erosionando la materia orgánica en altas cantidades y con ello disminuyendo la fertilidad física y química del suelo. La pérdida de nutrientes no es significativa para la productividad del cultivo de interés. Todos los tratamientos evaluados fueron más efectivos en el control de erosión que las prácticas actuales de cultivo. Las prácticas evaluadas en este trabajo presentan limitaciones en su implementación debido a su logística y alto costo. La cobertura de plástico y el polímero sintético son las mejores alternativas por su fácil implementación y efectividad. La EUPS, calibrada para las condiciones predominantes en el área, se utilizó de herramienta para el establecimiento de un plan de conservación de suelos diseñado para las condiciones edáficas y climáticas de la zona. Mediante la implementación del plan propuesto se puede disminuir la erosión a tasas menores a 7 t/ha/año.

Palabras clave: Degradación del suelo, Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, erosión hídrica, lignosulfonato, materia orgánica, polímero sintético.

CONTENIDO

	Portadilla.....	
	Autoría	II
	Páginas de firmas.....	III
	Dedicatoria.....	IV
	Agradecimientos	V
	Resumen	VI
	Nota de prensa.....	VII
	Contenido	VIII
	Índice de Cuadros	X
	Índice de Gráficos.....	XI
	Índice de Anexos	XII
1.	INTRODUCCION.....	1
1.1	OBJETIVOS	2
1.1.1	Objetivo general.....	2
1.1.2	Objetivo específico	2
2.	REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1	IMPORTANCIA DEL SUELO EN LA ECONOMIA COSTARRICENSE	3
2.2	LA EROSION EN COSTA RICA.....	3
2.3	CARACTERIZACION DE LAS LLUVIAS EN LA ZONA A TLANTICA COSTARRICENSE.....	4
2.4	LA EROSION EN CULTIVOS INTENSIVOS MECANIZADOS.....	5
2.5	ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO.....	6
2.6	CONSERVACION DE SUELOS	7
2.6.1	Acondicionadores de suelo.....	8
2.6.1.1	Compost	8
2.6.1.2	Subproductos industriales.....	8
2.6.1.3	Polímeros sintéticos.....	9
2.6.2	El uso de plástico.....	9
3.	MATERIALES y METODOS.....	10
3.1	DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	10
3.1.1	Clima	10
3.1.2	Suelos.....	10
3.1.2.1	Descripción del perfil.	10
3.2	ANALISIS ESTADISTICA.....	11
3.2.1	Unidad experimental.....	11
3.2.2	Tratamientos	11
3.3	CULTIVO.....	11
3.3.1	Manejo del cultivo	11
3.4	RECOLECCION DE DATOS.....	12

3.4.1	Muestras de sedimentos	12
3.4.2	Datos climáticos	12
3.5	CARACTERIZACIONES	12
3.5.1	Sedimento	12
3.5.1.1	Peso y secado	12
3.5.1.2	Análisis químico	12
3.5.2	Unidades experimentales.....	12
3.5.2.1	Análisis químico	12
3.5.2.2	Densidad aparente	12
3.5.2.3	Resistencia a la penetración	12
3.5.2.4	Caracterización de la estructura.....	13
3.6	CALIBRACION DE LA ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO (EUPS)	13
3.6.1	Calibración del factor de manejo del cultivo o cobertura.....	13
3.6.2	Calibración del factor de práctica de conservación.....	14
3.7	ELABORACION DE UN MODELO DE CONSERVACION DE SUELOS.....	14
4. 4.1	RESULTADOS y DISCUSION	15
4.1.1	CARACTERIZACION EDAFICA DEL SITIO EXPERIMENTAL	15
4.1.2	Descripción del perfil del suelo.....	15
4.2	Caracterización química	17
4.2.1	CARACTERIZACION DE LA PRECIPITACION.....	17
4.2.2	Precipitación del año 2001	17
4.3	Período de estudio	17
4.3.1	EFFECTIVIDAD DE LOS TRATAMIENTOS	18
4.3.2	Erosión	18
4.3.3	Densidad aparente	19
4.3.4	Resistencia a la penetración	19
4.4	Caracterización de la estructura.....	19
4.4.1	CALIBRACION DE LA EUPS	20
4.4.2	Calibración del factor de erosividad de las lluvias (R).....	20
4.4.3	Calibración del factor de erodabilidad del suelo (K)	20
4.4.4	Calibración del factor de manejo del cultivo (C)	20
4.5	Calibración del factor de prácticas de conservación (P)	21
4.6	EROSION (TIRVAÑO) POR TRATAMIENTO.....	21
4.7	PERDIDA DE NUTRIENTES	22
4.8 4.9	COSTO DE LA EROSION.....	23
	COSTO DE LA APLICACION DE LOS TRATAMIENTOS.....	24
	MODELO DE CONSERVACION DE SUELOS	25
b.	CONCLUSIONES	33
6.	RECOMENDACIONES	34
/.	BIBLIOGRAFIA	35
8.	ANEXOS .. :.....	37

1. INTRODUCCION

Los sistemas de producción agrícolas están comprometidos y obligados a suplir las necesidades alimenticias de una población cada día más creciente. Estos deben ser productivos y eficientes utilizando prácticas de manejo que les permitan ser competitivos y sostenibles con el medio ambiente.

La erosión del suelo es un proceso que compromete la productividad de las tierras agrícolas. Las áreas de producción en el trópico están sometidas a condiciones climáticas adversas en las cuales si no se toman las medidas necesarias de conservación y manejo adecuadas, los suelos quedan expuestos a una erosión acelerada, destruyendo así la capacidad productiva y fertilidad de estos al disminuir la profundidad efectiva, capacidad de retención de agua, remover la materia orgánica, partículas de arcilla, limo y pérdida de fertilidad entre otros.

Es necesario el estudio de los factores que intervienen y causan la pérdida de suelo, así elaborar estrategias y tácticas de manejo que permitan desarrollar un plan de conservación de suelos eficiente y que se acoplen a las condiciones climáticas y edáficas de nuestro medio.

La masa foliar de los cultivos de ciclo corto en los trópicos y de producción intensiva, principalmente en los primeros meses de establecimiento de estos, tiene muy poca cobertura sobre el suelo, exponiéndolo al impacto directo de las gotas de la lluvia. Es por esta razón fundamental investigar y desarrollar prácticas de conservación que sean efectivas y capaces de poderse implementar.

Con el presente trabajo se evaluaron coberturas y acondicionadores de suelo, los cuales deben ser rentables y accesibles al productor, sin comprometer su fertilidad y disminuyan la erosión del suelo a niveles tolerables o permitidos por la ley. De esta forma garantizar la productividad y sostenibilidad de los sistemas de producción.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 General

Calibrar los componentes de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (EUPS) para medir la erosión hídrica bajo cultivos intensivos mecanizados en la Costa Atlántica de Costa Rica y determinar la efectividad de acondicionadores y coberturas del suelo en los planes de conservación del mismo.

1.1.2 Específicos

Cuantificar y caracterizar la efectividad de polímeros sintéticos, enmiendas orgánicas, lignosulfonato y cobertura plástica en el control de la erosión y conservación de suelos.

Elaborar un análisis de costos en la utilización de tratamientos de conservación de suelos en el sistema de producción de cultivos mecanizados.

Cuantificar costos por la reposición de los nutrientes y materia orgánica perdidos.

Calibrar los componentes de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) hacia las condiciones edáficas y climáticas de la zona de Guápiles en Costa Rica y medir la pérdida de suelo por erosión hídrica mediante mencionada ecuación.

Proponer un modelo de conservación de suelos para los cultivos intensivos mecanizados en la zona de Guápiles de Costa Rica, donde han cobrado auge en los últimos años.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 IMPORTANCIA DEL SUELO EN LA ECONOMIA COSTARRICENSE

El suelo es el pilar fundamental en el abastecimiento de productos alimenticios para una población que aumenta significativamente día con día (Nuñez, 2001).

La economía costarricense ha dependido en su historia de los suelos agrícolas, ya que estos mediante su alta fertilidad y buenas propiedades físicas han permitido el desarrollo agropecuario y forestal (Echeverría, 1991; Bertch *et al.* 2000). Costa Rica tiene una extraordinaria diversidad de suelos en un área muy limitada, lo cual acrecienta su diversidad de vegetación y la posibilidad de siembra de cualquier cultivo (Bertch *et al.* 2000).

Estas ventajas productivas han permitido que la agricultura sea el principal ingreso de su economía, representando el 30% de su producto interno bruto, 33% del empleo nacional y el 55% de las exportaciones. Estas cifras demuestran que el vínculo entre la economía nacional y el recurso suelo es de suma importancia (Echeverría, 1991; Rubin y Hyman, 2000).

2.2 LA EROSION EN COSTA RICA

La degradación del suelo es la pérdida de la productividad actual o potencial de este recurso como resultado de factores naturales o antropogénicos. Esta es una amenaza global y tiene un fuerte impacto en los recursos de energía, alimentación y medio ambiente. La degradación del suelo es el principal componente de la degradación de la tierra, debido a cambios adversos en la pedósfera. La erosión del suelo es impulsada por medio de los efectos de interacción de la degradación de la estructura de este y climas intensos causando la degradación química, biológica y física del suelo. La erosión acelerada es el tipo de degradación dominante de suelo a escala global (Lal, 1999).

La erosión se define como el proceso de desprendimiento de las partículas y arrastre acelerado de las partículas del suelo causado por el agua y el viento (Morgan, 1997). La cual es un proceso de degradación que afecta la capacidad productiva del suelo (Cubero, 1996).

En 1994, el área afectada por erosión hídrica a nivel global fue de 1094 millones de hectáreas. La erosión eólica es el segundo tipo de erosión más importante con 548 millones de hectáreas (Lal, 1999).

La erosión hídrica causada por el agua de lluvia es muy importante en las regiones intertropicales del planeta donde se encuentra situada Costa Rica. Este proceso erosivo es típico de regiones tropicales, causado por la agresividad de las lluvias, debido a características de intensidad, duración y frecuencia asociado a los eventos pluviométricos (Nuñez, 2001).

La pérdida de suelo se debe al poder o energía cinética de la gota de lluvia, la cual al golpear el suelo desnudo o con vegetación parcial causa el desprendimiento de los agregados del suelo, y a la vez satura el suelo causando la escorrentía, la cual transporta el sedimento erosionado. Según Nuñez (2001) la intensidad de la lluvia es el factor pluviométrico más importante que afecta la escorrentía y la erosión.

Este lavado depende en primer lugar de las características del suelo, de su cobertura vegetal, de su manejo, de la longitud y grado de la pendiente y finalmente de la erosividad de las lluvias (Vahrson, 1991).

Este proceso de erosión causa en los sistemas de producción agrícolas la degradación física y química del suelo (F AO, 2000). La cual conlleva a impactos complejos, estos pueden ser estudiados en dos categorías; efectos *in situ* y *ex situ* (Echeverría, 1991; Rubin y Hyman, 2000). Entre los efectos *in situ* se encuentra la disminución en la medida de infiltración del suelo, capacidad de retención de agua, disponibilidad de nutrientes, materia orgánica, microorganismos del suelo y profundidad efectiva (Rubin y Hyman, 2000).

En Costa Rica se han elaborado diferentes estudios para conocer los efectos económicos de la erosión. Rubin y Hyman (2000) establecieron un análisis económico de la pérdida de suelo en Costa Rica, determinando y calculando un costo a la erosión, basándose en la cantidad de fertilizante comercial que sería necesario reponer por la pérdida de nutrientes en el sedimento de la erosión presentada. Se estima que el total de erosión de suelo para Costa Rica el año de 1992 fue de 22.2 millones t/año con un costo de \$12, 342. Según Echeverría (1991), el 24.4% de los suelos del país presentan una erosión ligera a moderada y un 17.7% sufren de erosión severa a extrema. Otros estudios citados por Cubero (1996) destacan que un 39% del área agrícola o sea 2170000 ha (23% del área del país) se encuentra con alto grado de erosión hídrica. Por su parte en estudios más recientes, Rubin y Hyman (2000) establecen que un 28% del territorio nacional costarricense experimenta una erosión mayor que la erosión tolerable, establecida por el gobierno de Costa Rica de 7t1halaño, de los cuales la mayoría son tierras agrícolas, es más según su análisis 60% de los suelos bajo cultivo perennes o anuales experimentan altas cantidades de erosión insostenibles.

Es importante citar ejemplos de erosión extrema en Costa Rica como en Bosque Puerto Carrillo, Nicoya, Guanacaste donde se presentan valores de 199.8 t/ha/año (Nuñez, 2001). En la zona de Guácimo, Limón 80 t/ha/año y en la zona de Venecia, San Carlos, Alajuela donde se han medido erosiones con valores que superan las 190 t/ha/año.

En conclusión muchos autores conciben que los suelos agrícolas de Costa Rica se están deteriorando aceleradamente y causan una disminución a la productividad de las tierras (Echeverría, 1991; Cubero, 1996; Rubin y Hyman, 2000). Por lo que si se quiere aumentar la producción agrícola y ganadera es necesario implementar un manejo y conservación de suelos para sostener y incrementar la productividad de las tierras agrícolas.

2.3 CARACTERIZACION DE LAS LLUVIAS EN LA ZONA ATLANTICA COSTARRICENSE

Las lluvias en Costa Rica tienen dos regímenes principales divididos por las cordilleras que con una dirección noroeste-sureste llegan a altitudes de 3800msnm. Esto causa que en las dos

vertientes ocurran diferentes cantidades y distribuciones anuales y diarias de precipitación pluvial. La Vertiente Atlántica o del Caribe, está expuesta casi continuamente a la influencia de los vientos alisios del este, no existe época seca y las lluvias se presentan a través de todo el año (Varhson, 1990).

Según Arias (1998) la zona está ubicada en un ambiente údico, es decir el suelo está seco por menos de 100 días acumulativos durante el año, las lluvias son normalmente mayores a los 100mm mensuales.

Según Vahrson (1990) las lluvias con altas intensidades ocurren el Costa Rica en la vertiente del Caribe con cierta frecuencia por:

- a) Su localización dentro de la Zona de Convergencia Intertropical.
- b) Lluvias orográficas por el aumento de los vientos alisios.
- c) Influencia de las ondas del este que producen vientos intensos, especialmente en el invierno los nortes causan precipitaciones fuertes en el caribe.
- d) Disturbios tropicales.

2.4 LA EROSION EN CULTIVOS INTENSIVOS MECANIZADOS

Los cultivos intensivos son cultivados a escala comercial, donde la mayor parte de sus áreas productivas en el mundo se encuentran ubicadas en el trópico. (El- Swaify y Zhang, 1993).

Estos sistemas tienen el potencial de acelerar la erosión del suelo *in situ* y deteriorar la calidad de agua *ex si/u*. El sistema de siembra de cama y surco practicado comúnmente, es un ejemplo de esta situación, ya que en estos sistemas de siembra el desagüe es repartido hacia el surco causando así escorrentía al producirse acumulación del agua, la cual tiene un alto potencial erosivo y es el principal transportador de sedimento (El-Swaify y Wan, 1999).

En los cultivos intensivos, los principales factores que influyen en la erosión del suelo son los caminos de acceso de tierra por donde circulan la maquinaria para las labores del cultivo, el período donde el suelo está descubierto y expuesto a las gotas de lluvia después de la preparación del suelo y antes de la siembra y el período después de la siembra donde no hay una suficiente cobertura vegetal.

Muchos trabajos e investigaciones se han enfocado en el entendimiento de los factores causantes de la erosión en estos cultivos, esenciales para la elaboración de efectivos planes de conservación de suelo y protección ambiental.

Diferentes trabajos se han evaluado bajo climas tropicales; El-Swaify y Zhang (1993) evaluaron en su estudio las características erosionables del cultivo bajo diferentes situaciones de manejo así como las recomendaciones de prácticas efectivas de conservación de suelos y agua bajo las situaciones presentadas.

Posteriormente El-Swaify y Wan (1999), elaboraron estudios sobre el efecto de utilización de plástico en la dinámica de generación de escorrentía y erosión de suelo bajo estos mismos cultivos en diferentes contenidos de humedad e intensidades de lluvia en Hawaii.

Obiefuna y Asoegwu (1993) por su parte trabajaron en suelos húmedos tropicales nigerianos evaluando densidades de cultivos para el establecimiento de un factor de cobertura adecuado (Factor C de la EUPS) que induzca una menor erosión.

En otras latitudes, estudios elaborados en Queensland, Australia, por Palis *et al.* (1997) se enfocan en la cuantificación de la erosión en pendientes mayores de 10% características de la zona, midiendo la pérdida de suelo, producción de escorrentía y pérdida de nitrógeno de los suelos bajo un cultivo intensivo.

Otros estudios desarrollados por Sugahara (2001) sobre erosión en el mismo cultivo, no bajo climas tropicales pero si bajo climas extremos, como lluvias de hasta 400mm/día en Ishigaki, Japón; donde se presentaron pérdidas de hasta 10 a 20% de la capa arable en 1995. Este estudio enfatizó en una calendarización del cultivo donde este sea menos propenso a los problemas de erosión y evalúa prácticas de conservación tales como cultivos de cobertura y tipos de labranza que fomenten la conservación de suelos y propicie una alta productividad del cultivo.

2.5 ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO

La pérdida de suelo depende en primer lugar de las características del suelo, cobertura vegetal, de su manejo, de la pendiente (grado y longitud) y finalmente de la intensidad y frecuencia de las lluvias. Mediante la combinación de estos factores en una ecuación se obtuvo finalmente la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (EUPS o USLE por sus siglas en inglés) elaborada por Wischmeier y Smith (Vahrson, 1991).

La EUPS es empírica por naturaleza; en otras palabras no intenta representar explícitamente las fuerzas físicas que causan la erosión del suelo (Rubin y Hyman, 2000).

Esta ecuación universalmente aplicada, está calibrada para el medio oeste de los Estados Unidos, con sus características climáticas, edáficas y geomorfológicas, de uso y manejo de suelos (Vahrson, 1991). Aunque esta ecuación está calibrada a condiciones diferentes a las de centro América, Según Alfaro (1991) su utilización puede generar resultados aproximados a la realidad siempre y cuando se utilicen en áreas pequeñas y con un estudio de suelos a nivel de gran detalle.

Mundialmente la EUPS ha sido utilizada en muchos países en una gran cantidad de estudios con diferentes climas, suelos y prácticas de manejo. En Costa Rica, se han elaborado muchos estudios de suelos que utilizaron la ecuación como una herramienta para la cuantificación de la erosión, tales como los trabajos importantes realizados por Mora, (1986); Echeverría, (1991); Rubin y Hyman, (2000).

Mora (1986), trabajó con la ecuación para cuantificar la erosión presentada y así definir acciones de manejo de suelos en la cuenca del río Pejibaye.

Echeverría (1991), en su estudio cuantificó mediante la EUPS la erosión y valoró económicamente la pérdida de suelo mediante la disminución de nutrientes.

Un trabajo similar pero más reciente se llevo a cabo parte Rubin y Hyman (2000) quienes utilizaron la ecuación universal para cuantificar la erosión de suelos en Costa Rica y establecer un impacto económico de esta tanto por sus efectos *in situ* como *ex situ*.

La EUPS se enfoca en la erosión hídrica, es compuesta por seis factores cuales son las condiciones básicas que influyen en el grado de erosión. La EUPS es:

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

A= Es la pérdida anual de suelo (t/ha).

R= índice de erosividad de las lluvias. Este factor indica el potencial erosivo de los eventos pluviales por características asociadas a las gotas de la lluvia, intensidad, frecuencia y duración.

K= factor de erosionabilidad del suelo, indica la susceptibilidad del suelo de acuerdo a sus características intrínsecas como textura, porcentaje de materia orgánica, estructura del suelo y permeabilidad del perfil.

LS= longitud de la pendiente (L) y grado de la pendiente (S); se combinan en un solo índice (factor topográfico), este expresa la pérdida de suelo en una ladera de pendiente en una longitud dada.

C= factor de manejo del cultivo representa una relación entre la pérdida de suelo con un cultivo dado y lo que se produce en ese mismo suelo desnudo.

p= factor relacionado con las prácticas de conservación utilizados en la región o en la zona agrícola. Este incluye el manejo de suelos mediante prácticas agronómicas o construcción de obras físicas.

2.6 CONSERVACION DE SUELOS

Hay operaciones agrícolas a gran escala en el trópico, donde las particularidades ambientales que lo distinguen someten los sistemas de cultivos a altos riesgos de erosión particularmente bajo regímenes de lluvia húmeda y subhúmedo (El-Swaify y Zhang, 1993). Es por este motivo que los planes de conservación son necesarios para la prevención de la degradación del suelo y protección de la calidad del agua. El objetivo final de todo sistema de producción en conservación en suelos, es obtener una producción sostenida en áreas agrícolas de alto riesgo en su manejo edáfico, de tal forma que la producción y el aumento en productividad del cultivo no cause el deterioro de los suelos, ni modificaciones sustanciales al ambiente (Nuñez, 2001).

Según la FAO (2000) hay nueve principios generales para el desarrollo de estrategias de manejo de los suelos.

1. Aumentar la cobertura
2. Aumentar la materia orgánica del suelo
3. Aumentar la infiltración de agua y la retención de agua.

4. Reducir la escorrentía
5. Mejorar las condiciones de enraizamiento
6. Mejorar la fertilidad química y la productividad
7. Reducir los costos de producción
8. Proteger las parcelas
9. Reducir la contaminación del suelo y del ambiente

Este trabajo se enfoca en los principios que se basan en la protección del suelo contra la erosión hídrica; cobertura del suelo, incremento de la tasa de infiltración, aumento de la materia orgánica y reducción de escorrentía. Evaluando diferentes acondicionadores de suelos y coberturas naturales y sintéticas que contrarresta la erosión.

Según Cubero (1996) en los sistemas de conservación, se debe actuar sobre los factores que determinan la erosión hídrica y lograr así que esta se mantenga en niveles tolerables. Referente a esto hay tres puntos importantes donde hay que actuar; sobre la resistencia del suelo a la erosión, protección del suelo contra la erosión y sobre la energía del agua de escorrentía. Respecto a esto Nuñez (2001) cita la importancia de conocer y analizar en los sistemas de producción la erosividad de las lluvias y erodabilidad del suelo.

2.6.1 Acondicionadores de suelo

Es una alternativa para mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo. Existe una alta diversidad de productos representados por productos orgánicos, sales polivalentes, subproductos industriales y diferentes polímeros sintéticos.

2.6.1.1 Compost. Producto estable humificado resultante de la descomposición biológica controlada de material orgánico que es higienizado a través de la generación de calor y estabilizado de tal forma que beneficie el crecimiento de las plantas (Nuñez, 2001; Prasad y Power, 1997).

Este material humificado mejora muchas de las propiedades físicas del suelo como el desarrollo estructural, infiltración y permeabilidad interna del suelo (Nuñez, 2001). Estas cualidades se deben al alto contenido de materia orgánica, la cual favorece la formación de una estructura estable por medio del complejo arcillo-húmico, este incrementa la capacidad del suelo en la retención de agua y nutrientes (FAO, 2000). Morgan (1997) resalta la importancia de la materia orgánica en incentivar la vida microbiana del suelo, así como organismos mayores (especialmente las lombrices) quienes crean macroporos verticales de varios tamaños, aumentando la aireación, tasa de infiltración y permeabilidad.

2.6.1.2 Subproductos industriales. Un producto de interés en conservación de suelos es el lignosulfonato. Es un subproducto de la caña de azúcar en la elaboración del ron compuesto por cadenas de aminoácidos con una relación C/N de 24.5: 1. Los grupos radicales que lo forman son carbonilo, alcohol, alcános, éteres y ésteres.

El autor no encontró trabajos relacionados con este acondicionador de suelo.

2.6.1.3 Polímeros sintéticos. Bouranis (1998) define los polímeros sintéticos como cadenas de proteínas que forman una red tridimensional que envuelven las partículas de suelo las cuales favorecen la agregación.

Varios polímeros han sido utilizados como acondicionadores de suelo para el mejoramiento de sus propiedades incrementando el movimiento del agua, desarrollo radicular y aireación.

La habilidad del polímero a la formación de agregados con partículas del suelo es una función de su arquitectura molecular, su grado polimerización, la naturaleza de la molécula así como la concentración de la dosis del polímero en la mezcla y características del suelo en tratamiento (Bouranis, 1998).

Lentz (1992) resume que la efectividad en control de la erosión está con relación a la efectividad del polímero de interactuar con las condiciones del suelo presentadas.

Lentz (1992) estudió diferentes métodos y dosis de aplicación mediante el uso de poliacrilamidas (5-20g/ m²) teniendo resultados efectivos, reduciendo la pérdida de sedimento de 45% a 98%, en suelos limosos con un 1.6% de pendiente bajo el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L).

Otros trabajos evaluando la utilización de polímeros en suelos arenosos en Arabia Saudita por parte de Al-Ornran y Al-Harbi (1998) citan el gran aumento en el mejoramiento de las propiedades físicas y químicas del suelo, así como mantenimiento de la productividad del suelo y disminución en los problemas ambientales.

Sin embargo, el uso a gran escala de acondicionares sintéticos del suelo como los polímeros a gran escala está muy limitado por su alto costo, su insuficiente longevidad, reducción de la capacidad de retención de agua en suelos salinos y resultados inconsistentes en el mejoramiento de las propiedades químicas (Al-Ornran y Al-Harbi, 1998; Bouranis, 1998).

2.6.2 El uso de plástico

El emplastamiento del camellón es una técnica ampliamente utilizada en muchos sistemas productivos, pues presenta un gran número de ventajas en su uso; control de nematodos, aumento de la temperatura del suelo, retención de humedad y control de malezas. Según El-Swaify y Wan (1999) el uso de mulch de plástico y sus efectos en erosión de suelo son pocos entendidas y sin documentación. Más bien la literatura demuestra efectivos resultados en el aumento de infiltración y reducción de erosión mediante el uso de residuos de cultivo como cobertura muerta (Monegat, 1991; Unger, 1994; FAO, 2000; Núñez, 2001).

Estudios en cultivos intensivos de alta productividad en Hawaii elaborados por El-Swaify y Wan (1999) se enfocaron en el entendimiento del papel del plástico en el control de erosión, polarizando sus resultados; el plástico por si solo (sin cultivo) fue el tratamiento que causó escorrentía de una forma más rápida y una mayor tasa de erosión mientras que el plástico sembrado con el cultivo fue el tratamiento más efectivo en el control de erosión.

3. MATERIALES y METODOS

3.1 DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO

El estudio fue realizado en el cantón de Guápiles, provincia de Limón, en suelos bajo rotación de cultivos intensivos y mecanizados. Esta zona se encuentra dentro de la vertiente del Caribe, ubicada dentro de las coordenadas geográficas 10°12'13" latitud norte y 83°37'30" longitud oeste.

Las principales actividades económicas de la zona son el cultivo del banano, maíz, cacao, tubérculos y la ganadería (Instituto Meteorológico de Costa Rica, 2001).

3.1.1 Clima

La altitud es de 114msnm, se presenta una precipitación de 4000 mm/año con temperaturas promedio de 24° C, una humedad relativa anual promedio de 87% y una evaporación de 3.6mm.

De acuerdo con la clasificación Holdridge, la finca se encuentra ubicada en un Bosque Muy Húmedo Premontano transición a Basal (Bmh-PV).

3.1.2 Suelos

Los suelos del área son del orden Inceptisol de origen aluvial por la forma de deposición de sedimentos pero de origen primario volcánico por mineralogía:

3.1.2.1 Descripción del perfil. La descripción se realizó mediante la elaboración de una calicata de 1.20m de profundidad por 1m de ancho por 2m de largo la cual se ubicó entre los dos bloques. Este sitio se seleccionó por ser el más representativo del estudio.

Se describieron los siguientes parámetros:

- a) Horizonte maestro
- b) Profundidad y grosor de los horizontes
- c) Color
- d) Estructura
- e) Consistencia
- f) Porosidad
- g) Estructuras pedogenéticas
- h) Raíces y límites

3.2 ANALISIS ESTADISTICO

Para un buen respaldo de los resultados obtenidos se diseñó un Diseño Experimental Completamente al Azar (BCA). El cual fue formado por un solo bloque dividido en cinco tratamientos con dos réplicas de cada uno dando un total de 10 unidades experimentales. Se determinó la efectividad de los tratamientos con respecto a las prácticas actuales de cultivo (control) en la reducción de erosión mediante una evaluación estadística usando la prueba de Dunnet, en una cola.

3.2.1 Unidad experimental

Cada unidad experimental contenía dos camellones internos completos de 25cm de alto, un surco completo y dos medios surcos. Las unidades experimentales se aislaron en su totalidad por paredes de lamina, los cuales se enterraron a una profundidad de 25cm y tienen una altura sobre la superficie de 50cm. Las 10 unidades experimentales presentaron una pendiente del 2%. Cada una con un largo de 10m por 2.50m de ancho, dando como resultado un área de 25m². En el extremo inferior de la parcela se ubicó una caja recolectora de los sedimentos de 125,000cm³, de donde se recolectó el suelo erosionado.

3.2.2 Tratamientos

Se aplicaron cinco tratamientos, con dos réplicas por cada tratamiento dando un total de 10 unidades experimentales (Cuadro 1) (Anexo 1).

Cuadro 1. Número y dosis por tratamiento

Tratamiento	Número de tratamiento	Dosis
Compost	T1	3000g/m ²
Control (testigo)	T2	
Lignosulfonato	T3	1000 g/m ²
Mulch de plástico negro	T4	1.25mm de grosor
Polímero sintético	T5	20 g/m ²

3.3 CULTIVO

Rotación de cultivos intensivos mecanizados propios del área de cultivo

3.3.1 Manejo del cultivo

El manejo (programas de fertilización, manejo de plagas, deshierba) que se llevó a cabo en las unidades experimentales es el convencional realizado por el sistema de producción.

3.4 RECOLECCION DE DATOS

3.4.1 Muestras de sedimentos

Las muestras se recolectaron en húmedo diariamente a las 7:00am. Cada muestra recolectada se identificó por el día de evento de lluvia.

3.4.2 Datos climáticos

Se recolectaron mediante el programa automatizado, el cual recibe la información de la estación meteorológica del área de interés. Los datos colectados fueron la precipitación total y intensidad máxima de lluvia.

3.5 CARACTERIZACIONES

3.5.1 Sedimento

3.5.1.1 Peso y secado. Se tomó el peso seco de cada muestra de sedimento de suelo por día de evento de lluvia y tratamiento (Anexo 2). El secado se hizo a una temperatura de 40°C durante 48h.

3.5.1.2 Análisis químico. Se realizó una muestra compuesta por mes y por tratamiento. En las muestras de suelos se hicieron los análisis siguientes:

- Cantidad de materia orgánica: medida mediante el método de Ellie and Black.
- pH medido al: 1 en agua y 1N KCl.
- Cantidad de nutrientes de P, K, Ca, Mg, P, Zn, Mn, Fe y B por métodos estandarizados.

3.5.2 Unidades experimentales

3.5.2.1 Análisis químico. De cada replica se obtuvieron muestras compuestas de suelo para un análisis químico completo al inicio y al final del experimento. Las muestras de suelo se analizaron en un laboratorio analítico. En este análisis se midió:

- Cantidad de materia orgánica: medida mediante el método de Ellie and Black.
- pH medido a l: 1 en agua y 1 N KCL.
- Cantidad de nutrientes de P, K, Ca, Mg, P, Zn, Mn, Fe y B por métodos estandarizados.

3.5.2.2 Densidad aparente. Este parámetro se midió cada cuatro semanas, obteniendo dos muestras por réplica mediante el uso de un densímetro de bolsillo de 50cc de volumen. Se respaldó la diferencia entre los tratamientos mediante la prueba estadística de Student Newman Keuls (SNK).

3.5.2.3 Resistencia a la penetración. Se realizaron 1 O lecturas por réplica experimental en la superficie del suelo mediante el uso de un penetrómetro de bolsillo obteniendo datos cada

cuatro semanas. Se respaldó la diferencia entre los tratamientos mediante la prueba estadística de Student Newman Keuls (SNK).

3.5.2.4 Caracterización de la estructura. Se caracterizó la estructura del suelo de todas las parcelas del sitio experimental a una profundidad de 0 a 30cm determinando los parámetros de tamaño, forma y grado de los agregados para determinar su estabilidad a lo largo del experimento.

3.6 CALIBRACIÓN. DE LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO (EUPS)

3.6.1 Calibración del factor de manejo del cultivo o cobertura

Mediante la manipulación de la EUPS, se resolvió la ecuación para el factor de manejo de coberturas (factor C) para obtener el valor de este para la etapa fenológica en un tiempo específico.

$$c = \frac{A}{R * K * LS * P}$$

Donde:

c= Valor de manejo del cultivo para una etapa fenológica específica.

A= suma del sedimento total erosionado recolectado en la caja recolectora en t/ha/año.

R= erosividad de la tormenta de mayor intensidad reportada en la estación climática del área de estudio. Su valor erosivo fue obtenido por la ecuación siguiente:

$$R: E * I$$

Donde

R: Valor de erosividad de la tormenta o evento pluvial
E: Energía total de la tormenta
I: Intensidad máxima de lluvia en 30 min

La energía cinética de la tormenta se calculó con base a la siguiente ecuación:

$$E: 0.119 + (0.0873 * \log 10 * I)$$

Donde

I: Intensidad de la lluvia en mm por hora
E: Energía cinética para una sola tormenta.

(Núñez, 2001)

K= Este fue determinado mediante el nomograma para determinar el factor K. Se obtuvo determinando los siguientes valores: porcentaje de materia orgánica, limo, arena fina, arena, tipo de estructura y permeabilidad.

LS = El valor de longitud y grado porcentual de la pendiente es de 0.2 Este valor se basa en las condiciones experimentales de 2% de pendiente con una longitud de 10m que presentaban las unidades experimentales.

p= el valor de la practica de conservación es igual a 1. Ya que dentro del sitio experimental no se elaboraron curvas en contorno ni terrazas de conservación.

3.6.2 Calibración del factor de práctica de conservación

Ya obtenido los diferentes los valores C para las diferentes etapas del cultivo, se prosiguió a despejar los valores de práctica de conservación para cada tratamiento (factor P) mediante el uso de la siguiente ecuación:

$$P = \frac{A}{R * K * LS * C}$$

Los valores para los diferentes componentes de la ecuación son los mismos usados para la calibración del factor C.

3.7 ELABORACION DE UN MODELO DE CONSERVACION DE SUELOS

Se elaboró un modelo de conservación de suelo mediante el uso de la ecuación ya calibrada para la recomendación de diferentes prácticas que ayuden a disminuir la erosión a valores menores de 7 t/ha/año. Esto se llevó a cabo mediante la conjunción de los valores de los diferentes tratamientos de conservación de suelos (factor P de cada tratamiento) con los factores de manejo de cultivo (C), erosividad de la lluvia (R), longitud y grado de la pendiente (LS) y erosividad del suelo (K) dicha interacción debe de tener un valor de erosión menor a las 7 t/ha/año permitidas, como se ilustra a continuación:

$$7 \text{ t/ha/año} < R * K * LS * C * P$$

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 CARACTERIZACION EDAFICA DEL SITIO EXPERIMENTAL

Los suelos del área son variables y ocurren en asociación de suelos residual es y suelos aluviales recientes. A continuación se presenta la descripción de un perfil típico del área.

4.1.1 Descripción del perfil del suelo

A continuación se detalla su descripción:

Localización: Guápiles, Limón.

Pendiente: 2%

Posición- geomorfológica: Primera terraza aluvial.

Material parental: Aluvial por deposición, con fuerte influencia volcánica por mineralogía

Clasificación Taxonómica: Andic Fluventic Dystropept

Cuadro 2. Caracterización del perfil del suelo del área del experimento.

Horizonte	Cm	Descripción
Ap	0-26	10 YR 3/3; franco; estructura blocosa subangular débiles de todos los tamaños; moderadamente firme (en seco); poros finos muchos; raíces finas y muy finas. Límites abruptos y muy plano
Ad	26-47	2.5 Y 3/1 con motes comunes, medianos y finos 7.5 YR 4/6. Franco; estructura laminar débil, fina y muy fina; muy firme; poros finos y vesciculares; muchas raíces finas. Fragmentos medianos y finos de residuo orgánico en diferentes estados de descomposición; límite claro y plano.

Bw	47-63	10 YR 3/2 con pocos motes distintos 10 YR 4/4 Y 7.5 YR 4/6. Revestimientos de óxido de hierro a lo largo de poros finos; franco arenoso; bloques subangulares medianos gruesos y débiles; friable; poros medianos y finos frecuentes; pocas raíces finas; limite gradual y ondulado
Bg	63-78	2.5 Y 3/1 motes gruesos comunes 7.5 YR 4/4 Pocas concreciones de hierro finas; Arena franca fina; bloques subangulares muy gruesos y débiles, firme <i>in situ</i> friable cuando disturbado, pocos poros finos vesciculares, muy pocas raíces finas, límite claro y ondulado.
Bg 2	78-100	Moteado 2.5 Y 3/2, 10 YR 4/6, 7.5 YR 5/6 y 4/6; arena franca fina. Parcialmente cementado por óxidos de hierro en un 40% del volumen; bloques subangulares gruesos y muy gruesos débiles con tendencia a la masividad; muy firme en un 80% del volumen y en un 20% friable (en bolsones); poros comunes y medianos y finos vesciculares; muy pocas raíces muy finas; limite gradual y plano.
Cg	100+	Moteado 2.5 Y 3/1, 7.5 YR 3/4; arena franca fina; estructura masiva; friable; muy pocos poros fmos; pocas raíces finas.

El análisis del perfil muestra que el suelo en sus primeros 25 cm presenta características óptimas para desarrollo radicular e infiltración pues está conformado por una estructura blocosa y una textura franca.

Sin embargo, la profundidad efectiva está limitada a los 26cm por un pie de arado, el cual es causado por la fricción de los implementos agrícolas al laborear el suelo en condiciones húmedas, formando una estructura laminar y un medio anaeróbico. Esta capa compactada tiene un grosor de 20cm, cual limita la infiltración, crecimiento de las raíces y descomposición de la materia orgánica.

A una profundidad superior de los 47cm se presenta una estructura masificada compuesta por cementaciones de óxidos de hierro, los cuales aumentan la cohesión de las partículas.

4.1.2 Caracterización química

Las propiedades químicas son resumidas en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Propiedades químicas del perfil del suelo del sitio experimental.

Horizonte	Profundidad (cm)	M.O. (%)	Ph	Ca	Mg	K	P	Zn	Fe	Mn
				(Cmol/kg)			(mg/kg)			
Ap	0-26	4.52	5.71	1.07	0.29	0.22	7	1	120	23
Ad	26-47	4.59	6.06	1.24	0.37	0.51	9	3	229	147
Bw	47-63	5.21	5.68	1.73	0.36	0.41	14	2	159	64
Bg	63-78	0.97	6.31	1.19	0.23	0.41	27	1	150	19
Bg2	78-100	0.24	6.55	1.76	0.37	0.83	13	3	383	11
Cg	100+	0.17	6.56	1.84	0.56	1.49	12	2	279	9

La caracterización química indica cantidades relativamente altas de materia orgánica en los primeros 60cm del suelo. Esta decrece gradualmente en los horizontes del subsuelo. La reacción del suelo (pH) oscila entre fuertemente ácida a neutra a una profundidad de 100cm. Esto indica una biodisponibilidad buena de macro y micronutrientes. Sin embargo, las concentraciones de cationes son bajas y con relaciones adecuadas para su absorción. Los contenidos de fósforo son bajos y es necesaria su aplicación. El zinc también es bajo por el contrario el hierro y manganeso son altos. Estas características químicas indican que a medida se pierde el suelo superior se reduce el volumen de suelo con contenidos altos de materia orgánica y con ello su fertilidad. Por tanto esta clase particular de suelo constituye químicamente un medio frágil y vulnerable hacia la erosión.

4.2 CARACTERIZACION DE LA PRECIPITACION

4.2.1 Precipitación del año 2001

En la zona se presentan eventos de precipitación a través de todo el año de manera relativamente uniforme (Anexo 3.), ocurriendo eventos de lluvia de dos de cada tres días. Siendo los meses de julio y diciembre los meses con mayor cantidad de precipitación, concentrándose en solo estos dos meses el 33% de la lluvia total, mientras que los meses de menor cantidad de precipitación fueron febrero y marzo. Las mayores intensidades se presentan en la segunda mitad del año (julio a diciembre), para el 2001 el evento más fuerte reportado fue de 81 mm/h, presentándose dos lluvias de esta intensidad dos veces más en el año.

4.2.2 Período de estudio

En los dos meses comprendidos por el proyecto se presentaron 22 eventos de precipitación, efectivos en la generación de sedimentos (Anexo 4) con una suma total de precipitación de 361mm. El 20 de marzo del 2002 se presentó la mayor intensidad de lluvia reportada por la estación meteorológica de la finca con una intensidad de 84mm/h.

4.3 EFECTIVIDAD DE LOS TRATAMIENTOS

4.3.1 Erosión

Los resultados se resumen en el siguiente gráfico:

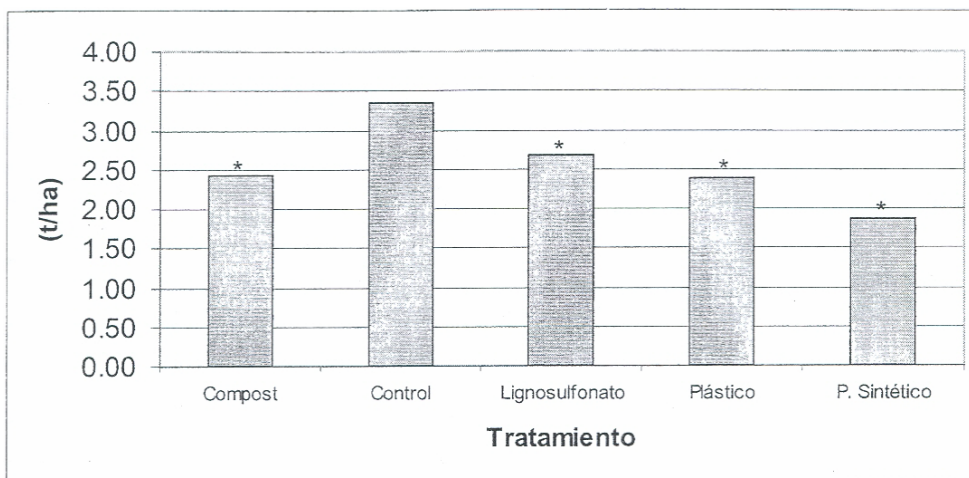


Gráfico 1. Efectividad de los tratamientos en la reducción de erosión (t/ha/año) en el periodo de estudio.

*Distinto al control por análisis Dunnet una cola ($P=0.05$).

Según la prueba estadística de Dunnet, se puede afirmar con una $P=0.05$ que todos los tratamientos fueron más efectivos en disminuir la erosión con respecto al control. Este presentó una tasa de erosión de 3.35 ton/ha para el periodo de estudio.

En los cinco tratamientos excepto en el compost, las segundas réplicas presentaron una mayor cantidad de erosión que la réplica uno debido a que el suelo donde se encuentra ubicada está compuesta por una textura más liviana. En el tratamiento de compost se erosionó una mayor cantidad de suelo en la réplica uno, está se caracterizó por producir escorrentía en un menor tiempo en comparación a las demás réplicas debido a una saturación más rápida del suelo.

El lignosulfonato presentó la desventaja de que es altamente higroscópico y con los eventos de lluvia se lavó de la cama, lo cual pudo haber repercutido negativamente su efectividad en controlar la erosión.

El defecto del compost se basó en que la enmienda no se puede aplicar en el talud del camellón, por lo que expone esta área al impacto de las gotas

El plástico fue el tercer tratamiento más efectivo en el control de erosión. Su efectividad se basó al proteger los agregados del suelo del impacto directo dispersante de las gotas de lluvia. Sin embargo, su problema radica en que el plástico al ser impermeable lava el agua hacia el surco y al concentrarse en este genera una mayor fuerza en la escorrentía y con ello una mayor tasa de erosión en el surco.

El polímero sintético fue el acondicionador de suelo más efectivo. Su aplicación fue sencilla y efectiva, ya que su aspersión con la bomba de aplicación cubre toda la cama (tanto el talud como el lomo). Sin embargo, se observó un tipo de encostramiento causado por el producto el cual puede impedir una eficiente aeración del suelo. No obstante esta costra es permeable al agua y gases (CO₂ y O₂).

4.3.2 Densidad aparente

La densidad aparente no presentó diferencias entre los tratamientos, pero las muestras mensuales tomadas indican que este parámetro si aumentó en el tiempo, presentándose una disminución en la porosidad. Esto es debido al encostramiento, capa superficial poco permeable al agua, causado cuando los agregados son dispersados en partículas individuales por el impacto directo de las gotas de lluvia en un suelo desnudo, relleno los poros superficiales del suelo.

Este encostramiento conlleva a una menor infiltración y mayor producción de escorrentía y con ello una mayor tasa de erosión.

La porosidad se reduce paulatinamente después de la siembra (evaluado mediante la prueba estadística de Student Newman Keuls con una probabilidad de P=0.003).

4.3.3 Resistencia a la penetración

Los tratamientos respondieron en forma diferente a la resistencia de penetración (Cuadro 4).

El compost por su naturaleza, fue el tratamiento más afectado, debido a que el acondicionador con la lluvia y el tiempo se incorporó al suelo cambiando su organización superficial. Los tratamientos de lignosulfonato, polímero sintético y control no presentaron diferencia. El plástico fue el más efectivo (P=0.01) en la protección de los agregados del suelo, ya que éste presenta una protección total del suelo contra el efecto de la lluvia por la cobertura que provee.

Cuadro 4. Resistencia a la penetración (kg/cm²) del suelo por tratamiento.

Tratamiento	Kg/cm ²
Compost	0.21 a*
Control	0.18 b
Polímero sintético	0.12 b
Lignosulfonato	0.08 b
Plástico	0.06 c

*Tratamientos con diferente letra presentan diferencia estadística mediante la prueba de Student Newman Keuls (P=0.01).

4.3.4 Caracterización de la estructura

En el período de tiempo de evaluación del proyecto no se presentaron cambios en el grado, forma y tamaño de los agregados del suelo (Anexo 5).

4.4 CALIBRACION DE LA EUPS

4.4.1 Calibración del factor de erosividad de las lluvias (R)

Según Varhrson y Dercksen (1990) se deben tomar las intensidades máximas de lluvia para el diseño y planificación de obras de conservación eficientes que sean adecuadas hacia las condiciones climáticas de la zona. La máxima intensidad reportada se presentó durante el tiempo del proyecto, con una intensidad máxima de 84mm/h .

El valor obtenido para este evento fue de $756.42\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$ La obtención de este valor se detalla en el Anexo 6.

4.4.2 Calibración del factor de erodabilidad del suelo (K)

El valor de erodabilidad para el suelo del área de estudio es de 0.25. Este valor clasificado según Goldsmith (1977) citado por Landon (1991) es un riesgo de erosión media. Este valor se obtuvo mediante la utilización del nomograma para determinar el factor K mediante los siguientes datos obtenidos:

Materia orgánica: 2%
 Limo: 25%
 Arena fina: 20%
 Arena: 45%
 Estructura: granular fino
 Permeabilidad:
 moderada

4.4.3. Calibración del factor de manejo del cultivo (C)

El cultivo en sus primeras etapas de desarrollo presenta una baja protección al suelo debido su escasa cobertura foliar haciéndolo más vulnerable a la erosión hídrica como es notado en el Cuadro 5 (El-Swaify y Zhang, 1993).

Cuadro 5. Valores calibrados del factor C por etapa fenológica del cultivo.

Cobertura (%)	Mes	Factor C
20	O al3	0.53
40	3 al6	0.47
80	6 al9	0.29

Los resultados obtenidos son similares a los valores de 0.24 a 0.44 obtenidos por Obiefuna y Asoegwu (1993) en su trabajo del valor del factor de manejo de cobertura para cultivos intensivos mecanizados en los trópicos.

Los resultados ilustran la curva de crecimiento de los cultivos estudiados, donde su desarrollo y cobertura es muy escasa en los primeros cinco meses; es a partir del sexto mes donde su crecimiento es más acelerado y se obtiene un traslape eficiente para la protección del suelo.

4.4.4 Calibración del factor de prácticas de conservación

(P)

Una vez obtenidos los valores C para cada etapa fenológica del cultivo y la cantidad de erosión por tratamiento y para cada periodo de estudio, se resolvió la ecuación para el factor de práctica de conservación (P), la cual equivale al tratamiento utilizado.

Cuadro 6. Factor P calibrado para cada tratamiento

Tratamiento	Factor P
Compost	0.73
Control	1.00
Lignosulfonato	0.80
Plástico	0.71
Polímero sintético	0.56

Según el Cuadro 6 el polímero sintético disminuyó la erosión a la mitad con respecto a las prácticas actuales implementadas en la finca. Mientras el plástico y compost fueron un 30% más efectivos que el control. El lignosulfonato es el menos eficiente, siendo solo un 20% más efectivo lo cual es aún estadísticamente significativo.

Experiencias prácticas adquiridas durante el presente trabajo demuestran que estos valores pueden ser obtenidos mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$Pt = \frac{At}{Ac} \cdot 100$$

Donde:

Pt= Valor de la práctica de conservación.

At= Erosión (t/ha/año) por tratamiento.

Ac= Erosión (t/ha/año) de la práctica de manejo convencional.

4.5 EROSION (t/ha/año) POR TRATAMIENTO

Una vez calibrados los componentes de la EUPS se obtuvieron los valores de erosión para cada etapa del cultivo y así la erosión total al año para las condiciones del área de estudio.

Cuadro 7. Pérdida de suelo (t/ha/año) en diferentes etapas de desarrollo del cultivo.

Tratamiento	Factor P	Etapa I	Etapa 11	Etapa 111	t/ha/año
		3 meses 20% Cobertura	3 meses 40% Cobertura	6 meses 80% Cobertura	
Compost	0.73	3.65	3.24	3.99	10.88
Control	1	5.03	4.46	5.51	15.01
Lignosulfonato	0.8	4.01	3.55	4.39	11.95
Plástico	0.71	3.56	3.16	3.89	10.61
Polímero Sintético	0.56	2.79	2.47	3.05	8.30

Según el cuadro anterior los seis primeros meses de cultivo son los más susceptibles a la erosión, por la escasa cobertura foliar del cultivo, en estos meses se presentan el 60 al 65% de la erosión total anual. Se puede destacar que ningún tratamiento por si solo es capaz de disminuir la erosión a valores menores a las 7 t/ha/año por lo que es necesario la implementación complementaria de otras obras de conservación de suelos.

4.6 PERDIDA DE NUTRIENTES

Los análisis químicos de suelos se elaboraron a cada muestra compleja de sedimento colectado a lo largo de cada mes después cada evento de lluvia en cada tratamiento (Cuadro 8). Las pérdidas de nutrientes no fueron significativas para los requerimientos nutricionales del cultivo de interés, sin embargo la pérdida de materia orgánica debido a la erosión fue de magnitud importante (Gráfico 2).

Cuadro 8. Pérdida de nutrientes por erosión (kg/ha/año).

Tratamiento	M.O.	Ca	Mg	K	P	Zn	Fe	Mn	B
Compost	653.05	9.28	1.96	3.80	0.03	4.26	0.96	1.39	0.00
ontrol	826.30	5.48	1.01	1.59	0.03	3.16	0.82	0.94	0.00
Lignosulfonato	678.16	7.37	3.18	6.79	0.04	3.02	1.01	1.07	0.00
Plástico	455.96	4.41	0.82	1.83	0.03	2.74	0.73	0.65	0.00
Polímero sintético	430.98	5.44	1.05	2.11	0.03	2.84	0.72	0.53	0.00

Según Landon (1991) los requerimientos anuales del cultivo son 200 a 300kg de nitrógeno, 55kg de fósforo y 160 a 400kg de potasio. La pérdida del fósforo presentada fue de 0.04kg/ha/año y la de potasio se cuantificó en 4.45kg/ha/año, los cuales representan un 0.05% y 0.56% respectivamente de los requerimientos anuales, lo cual no es de importancia económica.

Como muestra el siguiente gráfico, la materia orgánica fue erosionada severamente representando desde un 4% hasta 6%, según el tratamiento, del sedimento total erosionado (Gráfico 2). Esto es un indicador de la desagregación del suelo (F AO, 2000). Esto se debe a que las gotas de lluvia al impactar y destruir los agregados del suelo, desprende y transporta las partículas más livianas como la arcilla y materia orgánica (coloides del suelo). Esta situación es de gran importancia dado que la fertilidad del suelo esta directamente relacionada a la presencia de estos coloides.

Es importante destacar que el polímero sintético y el plástico, cuales fueron los tratamientos con una menor erosión, son a la vez los tratamientos que presentan menor pérdida de materia orgánica por kilogramo erosionado.

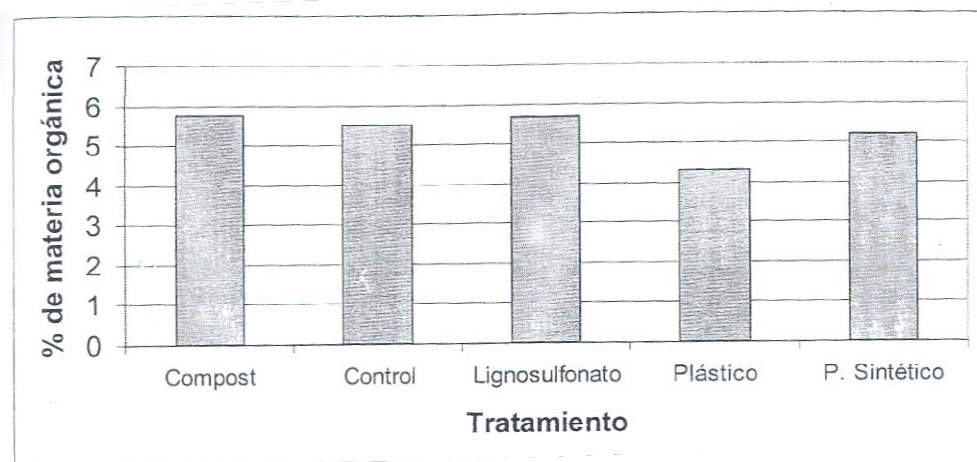


Gráfico 2. Pérdida de materia orgánica en el sedimento erosionado por tratamiento durante el periodo de estudio.

El lignosulfonato y el compost fueron los dos mejorados de suelo con mayor pérdida de materia orgánica, así como de potasio, hierro y magnesio (Anexos 7,8, 9,10 y 11). Sin embargo, estos tratamientos presentaron en el análisis de suelo en las réplicas el mayor intercambio catiónico, aumentando en un 250% y 230% con respecto al control, (Anexo 12), aumentando así la capacidad de retención y disponibilidad de nutrientes hacia las raíces de la planta (Lal 1999).

Sería interesante conocer la estructura química de estos compuestos para inferir en más detalle en sus mecanismos de interacción con la fracción mineral del suelo. Desafortunadamente, esta caracterización requiere de análisis moleculares fuera del alcance analítico de los laboratorios disponibles.

4.7 COSTO DE LA EROSION

Bajo las prácticas actuales de conservación y manejo de suelos, el costo por la reposición de la materia orgánica perdida es de \$136.4, los nutrientes perdidos no fueron incluidos por no ser una pérdida significativa. La materia orgánica fue agregada mediante el compost (50% M.O.). El costo no incluye la mano de obra ni de maquinaria necesitadas en la práctica.

Cuadro 9. Costo por la reposición de la materia orgánica

Pérdida(kg/ha)	Precio(\$/qq)	Cantidad compost/qq.	Total (\$)/ha/año
1388.185	2.2	62	136.4

4.8 COSTO DE LA APLICACION DE LOS TRATAMIENTOS

El siguiente cuadro resume los costos por la aplicación de los diferentes tratamientos analizados en este trabajo. Los costos se obtuvieron para la región donde se elaboro el estudio.

Cuadro 10. Costo (\$) por hectárea por tratamiento

Tratamiento	Item	Unidad	\$/Unidad	Total
Compost	Insumo	Kg	1.9	1,222.40
	Mano de obra	Jornal	11.8	94.1
	\$/ha			1,316.50
Lignosulfonato	Insumo	Kg	7.5	2,880.00
	Mano de obra	Jornal	11.8	188.2
	\$/ha			3,068.20
Plástico	Insumo			320
	Mano de obra	Jornal	11.8	94.1
	Materiales			
	Mecate plástico	m	0.002	1.7
	Estacas	unidad	0.01	16.5
\$/ha			432.2	
Polímero sintético	Insumo	Kg	65.8	399.6
	Mano de obra			
	Operador del tractor	Jornal	2.2	1.3
	Operador del spray boom	Jornal	2.2	1.3
	Maquinaria			
J. Deere 6310 -spray boom	hora	28.4	18.8	
\$/ha			421	

Las aplicaciones de los tratamientos de compost y lignosulfonato son muy caros, pues requieren de maquinaria especial para su aplicación u investigar otra forma de logística, por lo que su aplicación necesita una gran cantidad de mano de obra si se carece del equipo, dichas aplicaciones son muy tediosas y de un alto volumen del material de tratamiento.

El tratamiento a base de plástico es más fácil de manipular y mucho más económico comparado a los demás, excepto al polímero sintético, el cual presenta un costo similar. Su costo de mano obra se puede disminuir si se compra un equipo agrícola especial para el emplastamiento de la cama.

El polímero sintético es el que presenta la mejor logística pues su aplicación se puede realizar mediante el equipo, como tanque de aspersión ("spray booms"), que ya poseen las fincas con sistemas de producción intensivos. Al ser mecanizada es mucho mejor distribuido en el suelo y en un menor de tiempo (40 min/ha).

4.9 MODELO DE CONSERVACION DE SUELOS

La siguiente información se basa en modelo presentado en la página siguiente. Este es a las condiciones edáficas y climáticas de la zona de Guápiles, Limón, Costa Rica.

1. Recolección de Información

1.1 Estudio detallado del suelo

Este estudio describe la cantidad de materia orgánica, arena muy fina, limo, arena, estructura y permeabilidad del suelo y establece el valor K (erosionabilidad del suelo) en la EUPS.

La caracterización detallada del área de producción se desarrolla mediante:

- a) Barrenación del área en cuadrículas de 100 X 100m mediante la utilización de un barrenador Hoffer (barrenador de tubo), determinando textura, estructura, color, grosor de los horizontes y profundidad de la capa freática.
- b) Elaboración de calicatas una por cada área donde se presente características similares de suelo y topográficas, determinando horizontes maestros, profundidad y grosor de los horizontes, color, fragmentos gruesos, estructura, consistencia, porosidad, estructuras pedogenéticas, raíces y límites.

1.2 Estudio topográfico

Determinación de las gradientes y longitudes de las pendientes del área.

1.3 Caracterización de los regímenes de lluvia

Recolección de información sobre cantidad y distribución de precipitación anual, así como épocas de intensidades máximas, duraciones y tiempo de retorno de las tormentas son importantes para el establecimiento de los planes de conservación.

1.4 Caracterización del cultivo de interés

Es necesario el conocimiento de las características morfológicas del cultivo, esto incluye arquitectura foliar, etapas de crecimiento, necesidades eco fisiológicas y nutricionales, densidades adecuadas y su efecto de cobertura.

2. Análisis de información

2.1 Mapeo del suelo

Integración de la información mediante un mapa de potencial de uso del suelo para el cultivo de interés. Los suelos son clasificados según sus limitantes y características químicas, físicas y morfológicas en clases y subclases

Un mapa de erodibilidad del suelo es necesario para conocer la susceptibilidad del suelo hacia la erosión hídrica y definir las áreas críticas para un mejor manejo. Así de acuerdo al valor establecido (mapa de factores K y riesgo de erosión) se clasifica la erodibilidad de la como se ilustra en el siguiente cuadro:

Gráfico 3. Modelo de conservación de suelos propuesto para la zona del cantón de Guápiles, Limón, Costa Rica.

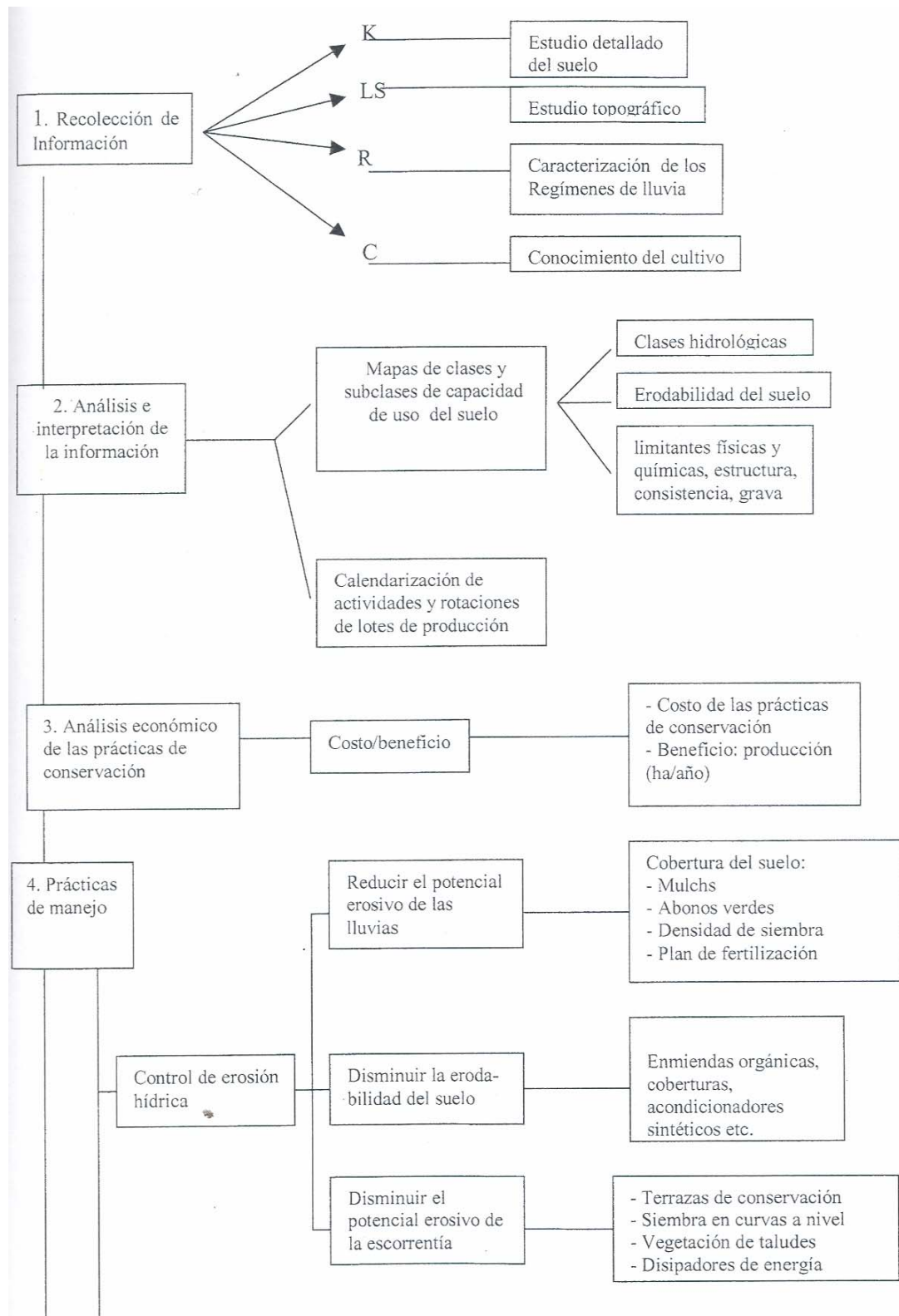
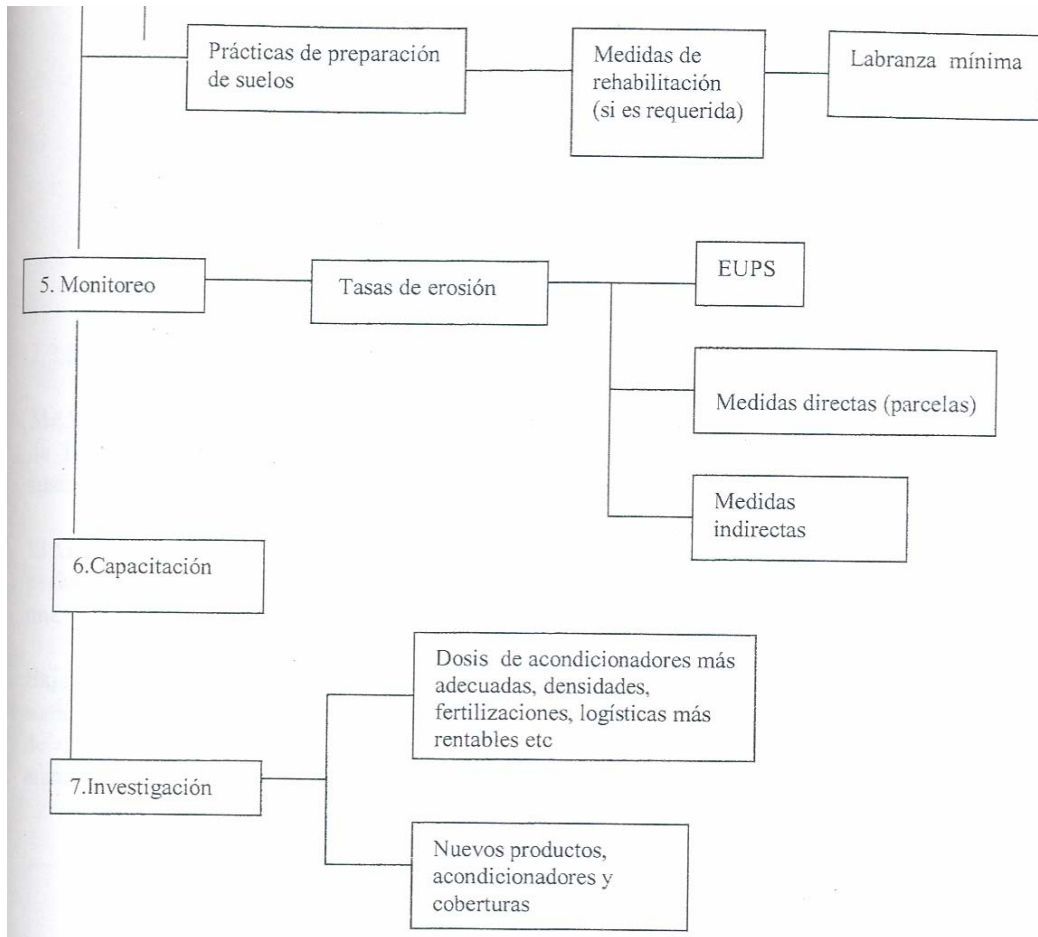


Gráfico 3. Continuación.



Cuadro 11. Valores K según el riesgo de erosión.

Riesgo de erosión	Valor (K)
Baja	0.09 a o menos
Baja a media	0.1 a 0.19
Media	0.2 a 0.29
Media a alta	0.3 a 0.39
Alta	0.4 a 0.59
Muy alta	0.6 o más

Fuente: Goldsmith (1977) citado por Landon (1991).

2.2 Planificación de actividades

Mediante los mapas de erodibilidad del suelo y el conocimiento de la erosividad y distribución de las lluvias se planifica la época de laboreo del suelo y su siembra de acuerdo a la susceptibilidad del suelo, así como el desarrollo de los planes de conservación según la época.

El Gráfico 4 demuestra que la erosividad de las lluvias es más pronunciada en el segundo período del año (julio a diciembre) pues en ese tiempo es donde se presentan los meses con una mayor precipitación (Anexo 3) y las mayores intensidades.

Bajo un enfoque de conservación de suelos lo óptimo es desarrollar labores de preparación de suelos y siembra de las áreas con un valor K mayor a 0.4 entre [males de enero y principios de abril, para cuando se alcance las épocas de altas intensidades de lluvia el cultivo se encuentre con una mayor cobertura foliar.

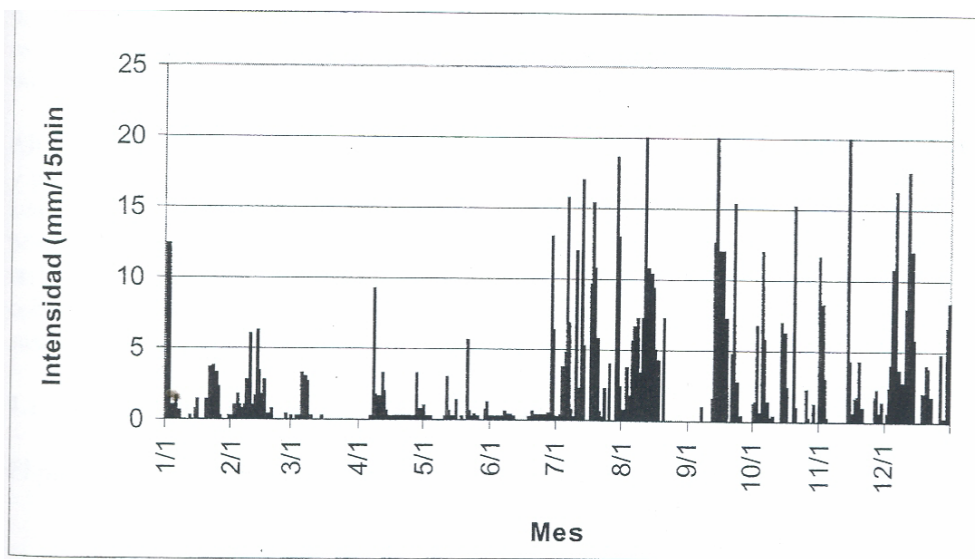


Gráfico 4. Distribución anual de las intensidades de precipitación para la zona en estudio en el año 2001.

En la segunda mitad del año es donde se trabajan los suelos con una menor erodibilidad pero a la vez es de suma importancia el desarrollo de planes de conservación efectivos complementarios que disminuyan la energía cinética de las gotas de lluvia, la velocidad del agua de escorrentía y protejan los agregados del suelo. Es este período del año donde se debe ser eficiente en aplicaciones de acondicionadores y coberturas de suelo.

3. Análisis económico

Es necesaria la obtención de costos de las diferentes obras y planes de conservación de suelos para evaluar su accesibilidad hacia la implementación por el productor, así como los beneficios que estos planes conllevan por su correcta implementación. (Ejemplo: productividad; t/ha/año).

El Cuadro 10 resume los costos de la implementación de los acondicionadores y coberturas de suelo analizados en el presente proyecto.

La obtención de los beneficios de los tratamientos investigados no se pudieron establecer en este proyecto por el tiempo limitado del estudio, pues no alcanzo para la cuantificación de la producción del cultivo por hectárea.

4. Plan de conservación

4.1 Control de la erosión hídrica

4.1.1 Reducción del potencial erosivo de la lluvia

Este parámetro consiste en disminuir la energía cinética con que la gota de lluvia golpea los agregados del suelo. Se debe trabajar en:

Cultivo: implementar una buena nutrición vegetal para el desarrollo de un buen vigor de la planta y obtener un buen crecimiento y cobertura foliar. Otro aspecto a trabajar en esta área es la investigación e implementación de una densidad de siembra adecuada que permita una buena productividad por área así como protección al suelo.

Abonos verdes: un cultivo de crecimiento precoz, enano, relativamente libre de enfermedades y plagas o que no afecte al cultivo de interés y con una eficaz cobertura de suelo puede ser sembrado en áreas ya preparadas cuales van a ser sembradas hasta dos o más meses posteriormente de la preparación de suelos. Al momento de la siembra esta pueda ser erradicada mediante la utilización de un herbicida sistémico y aprovechar los residuos como cobertura muerta. Esta práctica es mejor desarrollarla en las áreas donde los suelos son muy susceptibles a la erosión.

4.1.2 Disminución de la erodabilidad del suelo

El plan de conservación de este trabajo se deriva a partir del siguiente cuadro.

Cuadro 12. Erosión (t/ha/año) según susceptibilidad del suelo (valor K), pendiente y práctica de conservación implementada

Pendiente (%)	Prácticas en contorno + terrazas			Prácticas en contorno Terrazas + plástico		
	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta
2	0.78	1.73	3.46	0.55	1.23	2.45
4	1.51	3.35	6.70	1.07	2.37	4.74
6	3.25	7.22	14.43	2.30	5.11	10.22
8	4.68	10.39	20.78	3.31	7.36	14.72
10	6.49	14.43	28.86	4.60	10.22	20.45
12	8.57	19.05	38.10	6.07	13.49	26.99

Los acondicionadores o coberturas deben aplicarse a los suelos con un valor K mayor al 0.2. En pendientes menores de 4% de gradiente no es necesario su aplicación.

Se recomiendan los siguientes acondicionadores o coberturas:

Compost: este material orgánico se debe aplicar a suelos con textura liviana, aumentando así la materia orgánica y por ende la capacidad de intercambio catiónico y con ello aumentando la retención de nutrientes, la agregación de las partículas del suelo, la estabilidad estructural y la disponibilidad de agua. Es preferible su aplicación en la época con menos lluvia (febrero y marzo) para evitar el lavado y así una mejor incorporación al suelo. **Polímero sintético:** es un tratamiento de alto costo pero muy efectivo y de fácil aplicación, es recomendado para suelos con riesgo altos de erosión (k mayor a 0.4), así como su aplicación en los meses de más altas intensidades de lluvia como julio y diciembre.

Plástico: su uso se recomienda al segundo período del año, donde se presentan mas frecuentemente tormentas de altas intensidades. Este se debe establecer antes de la siembra, una vez puesto el plástico es importante sembrar en el menor tiempo posible.

Materia orgánica: es recomendable la aplicación de enmiendas orgánicas a las áreas con un mayor factor K (mayor a 0.4) para generar la estructura y todos los beneficios que la aplicación de esta enmienda conlleva.

4.1.3 Disminución del potencial erosivo de la escorrentía

Prácticas en contorno y terrazas de conservación: laboreo y operaciones en forma perpendicular a la pendiente junto con la construcción de terrazas. Estas son efectivas en el control de erosión hasta pendientes del 6% en suelos con erodabilidad de baja a media, en pendientes más pronunciadas o de mayor gradiente es recomendable la aplicación de un acondicionador o cobertura. En suelos con erodabilidad alta es necesario el cultivo en contorno y el terraceo con los acondicionadores y coberturas a partir de pendientes mayores al 4%. La altura de los camellones en contorno debe ser baja (10 cm).

En general no es recomendado sembrar en pendientes mayores del 8%, sólo si el suelo es de un valor k bajo (0.09) se puede sembrar en pendientes con 10% gradiente.

Vegetación de pendiente: es importante la vegetación de taludes de los canales, así como suelos descubiertos sin uso agrícola, para evitar velocidades erosivas del agua. Un

enzacatado O siembra de un cultivo de cobertura de baja altura sería una buena opción. Lo importante es que el suelo no quede desprotegido.

Disipadores de energía: estos son usados en los canales recolectores, estructuras de bambú o hileras de roca son muy efectivas. El distanciamiento entre estas debe ser colocado según la pendiente (Cuadro 13).

Cuadro 13. Distanciamiento de los disipadores de energía en los canales de drenaje.

Pendiente (%)	Distanciamiento (m)
0,5-2	7
2-5	5
Mayor al 5	3

Fuente: Schwab (1992).

Mantenimiento de calles: estas deben tener superficie parabólica para evitar encharcamiento y fomentar el desagüe hacia la cuneta. Estas se les deben brindar un mantenimiento adecuado y presentar disipadores de energía para disminuir la erosividad del agua de drenaje.

4.2 Prácticas de laboreo de suelos

Es de suma importancia que estos se desarrollen cuando suelo se encuentre seco, pero si las condiciones climáticas no lo permiten se debe realizar cuando el estado físico del suelo sea mable.

Las prácticas de labranza recomendadas basadas en los resultados de este estudio son las siguientes:

a) Rompimiento del pie de arado (si se presenta)

Subsoleo: utilización de una subsoladora de tres cuerpos y con tres picos, provistos de aletas para ampliar la zona de fracturamiento en el perfil. Si el subsoleo se hace a las profundidades y humedades requeridas, y los trabajos de rastra también, no será necesario esta práctica en ciclos posteriores.

b) Incorporación de residuos

Rastra pesada: ayuda a la incorporación de los residuos del ciclo anterior. Los discos deben ser de un diámetro mayor a los 80cm, los cuales deben estar bien afilados para un mejor corte del material. Es importante que antes de las labores de incorporación, los residuos se encuentren bien triturados para una mejor descomposición.

c) Roturación del suelo (si se presenta compactación o encostramiento superficial)

Arado de cincel: se utiliza para mezclar y airear el suelo mediante un rompimiento vibratorio. La ventaja de este implemento radica en que no voltea el suelo permitiendo que la materia orgánica, la cual es más rica en los horizontes superficiales, se mantenga en las primeras capas haciendo más accesible los nutrientes hacia las raíces de las plantas así como otros beneficios ya mencionados en este trabajo. La utilización de este implemento es muy adecuado para la zona porque permite trabajar en humedades de suelo más altas.

d) Preparación del lecho de siembra

Rastra pesada: el motivo de su uso es la destrucción de los terrones gruesos y un volteo ligero de la tierra para una incorporación final de los residuos.

Rastra liviana. conocida a la vez como pulidora, su uso se limita solo cuando los terrones son mayores a los 10cm de diámetro. Es recomendable no usarla en exceso para no pulverizar el suelo y hacerlo más propenso a la erosión. No se debe implementar en épocas lluviosas.

5. Monitoreo

Las prácticas de conservación de suelos establecidas deben estar en un constante seguimiento para evaluar su efectividad en el tiempo en la disminución de la erosión. Dicho seguimiento consiste en implementar y establecer correctamente las diferentes prácticas, supervisar la eficiencia de los planes de manejo de suelo mediante mediciones de tasas de erosión mediante la utilización de la EUPS, o a través de métodos directos (parcelas de escorrentía en el campo) e indirectos (pedestales u otras formulas establecidas para medición de erosión) así como supervisión de mantenimiento y renovación de estructuras y medidas de conservación.

6. Capacitaciones

Cada finca agrícola debe preocuparse por capacitar a su personal y concientizar sobre la importancia del suelo para la sostenibilidad y productividad del sistema de producción. Esto incluye capacitación al personal de laboreo de suelos, manejo correcto de plaguicidas y fertilizantes entre otros. Logrando así motivar al personal para una correcta aplicación de las labores de conservación de suelos.

7. Investigación

Cada finca presenta suelos y condiciones climáticas específicas, por lo tanto no existen recetas, existen diferentes obras, prácticas y planes de conservación establecidos e investigados los cuales deben ser modificados según el cultivo y condiciones agro ecológicas presentadas. Por lo que es necesario implementar y buscar nuevos planes para evaluar su efectividad, acoplarlos a características climáticas y edáficas presentadas y desarrollarlos hasta alcanzar una efectividad óptima en el control de erosión.

5. CONCLUSIONES

Las prácticas actuales de manejo de suelos no son eficientes para el control de erosión ya que se sobrepasan el valor de 7 t/ha/año de suelo erosionado.

Todos los tratamientos implementados fueron significativamente efectivos en la reducción de erosión en comparación a las prácticas de actuales del sistema de producción.

El uso de lignosulfonato no es prácticamente factible. Las aplicaciones de plástico y polímero sintético son las más económicas y efectivas en reducir la erosión.

La materia orgánica es el componente del suelo más afectado por la erosión, por lo cual el costo de la erosión se basó en la pérdida de ésta. El costo establecido es muy relativo porque se omiten muchos parámetros que se ven directa e indirectamente afectados por la erosión (productividad, efectos *ex situ*, entre otros).

El estudio permitió desarrollar una metodología y calibrar la EUPS para la zona. La cual permite simular escenarios reales para evaluar diferentes medidas de conservación de suelos.

El estudio contribuyó en el desarrollo de una ecuación que permite asignar valores precisos de las prácticas de conservación a la EUPS.

6. RECOMENDACIONES

Es necesaria la implementación de diferentes prácticas de conservación de suelos para disminuir la pérdida del suelo a valores menores a las 7 t/ha/año

Se recomienda el plástico y el polímero sintético para el tratamiento de suelos de media a alta erodabilidad por su fácil implementación, el polímero sintético por ser el de mayor efectividad es el mejor para áreas de alta erodabilidad.

El compost es recomendado para áreas con una baja capacidad de intercambio catiónico y como acondicionador para áreas de alta erodabilidad.

Es importante brindar continuidad al proyecto para poder conocer la efectividad de los tratamientos en la época lluviosa, así como susceptibilidad a plagas, productividad y calidad del producto.

Es necesario investigar otros parámetros de interés de los acondicionares y coberturas analizados en este proyecto como dosis más precisas, otras formas viables de implementación, tiempo de efectividad, otros acondicionadores, etc.

Se deberá obtener correlaciones entre los análisis químicos del sedimento erosionado con la productividad y calidad del producto.

Es importante que cada finca de producción de cultivos intensivos mecanizados invierta en la recolección de información para el establecimiento de un plan de conservación de suelos como mapas topográficos, mapas de factores k y riesgo de erosión, investigación, etc.

BIBLIOGRAFIA

- ARIAS, A.e. 1998. Suelos Tropicales. San José, Costa Rica. Editorial Universidad a Distancia, 168p.
- BERTCH, F.; AL V ARADO, A.; HENRIQUEZ, C.; MATA, R. 2000. Properties, geographic distribution, and management of major soils orders of Costa Rica. En: Hall, C.A. USA. Academic Press. 265-291p.
- BOURANIS, D.L. 1998. Designing synthetic soil conditioners via postpolymerization reactions. En: Wallace A. y Teny R.E. 1998. Handbook of soil conditioners. New York, USA. Marcel Dekker. 596p.
- CUBERO, E. 1996. Manual de Manejo y Conservación de Suelos y Aguas. 2 ed. San José, C.R. Editorial Universidad Estatal a Distancia. 278p.
- ECHEVERRIA, J. 1991. Implicaciones económicas de la erosión en Costa Rica, Memoria: Taller de erosión de suelos. Heredia, Costa Rica. Universidad Nacional. 250p.
- EL-SW AIFY, S.A.; ZHANG, J. 1993. Erosion problems and conservation needs of pineapple culture. First International Pineapple Symposium. Honolulu, Hawaii, USA, 2-6 Nov. 1992. Acta Horticulturae. 334: 227-233p.
- EL-SW AIFY, S.A.; W AN, y. 1999. Runoff and soil erosion as affected by plastic mulch in a Hawaiian pineapple field. Soil and Tillage Research. 52: 29-35p.
- FAO.2000. Manual de Prácticas Integradas de Manejo y Conservación de Suelos. Roma, Italia. FAO.220p.
- LAL, R. 1999. Soil Quality and Soil Erossion. Boca Raton, USA. CRC Press. 329p.
- LAL, R. 1999. Erosion impacts of soil quality in the tropic. En Menachem. A. 1995. Soil erosion, conservation and rehabilitation. Florida, USA. CRC Press. 558p.
- LANDON, J.R. 1991. Booker tropical soil manual. 2 ed. N.Y, USA. Booker Tate. 473p. LENTZ, R.D. 1992. Preventing irrigation furrow erosion with small applications of polymers. Soil Science Society of American Journal. 56: 1926-1932p.

- MONEGAT, C. 1991. Plantas de cobertura del suelo: características y manejo en pequeñas propiedades. Brasil. Chapecó (Se). 335p.
- MORA, LC. 1986. Evaluación de la Pérdida de Suelo Mediante la Ecuación Universal (EUPS). Aplicación para Definir las Acciones de Manejo en la Cuenca del Río Pejibaye, Vertiente Atlántica, Costa Rica(Tesis). Turrialba, Costa Rica. CATIE. 104p.
- MORGAN, R.P.c. 1997. Erosión y conservación de suelos. Mundi Prensa. Madrid, España. 343p.
- NUÑEZ, J. 200 I. Manejo y conservación de suelos. Editorial Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica. 288p.
- OBIEFUNA, J.C.; ASOEGWU, S.N. 1993. Pineapple for ground cover management and erosion control in south eastern Nigeria. First International Pineapple Symposium. Honolulu, Hawaii, USA, 2-6 nov. 1992. Acta-Horticulturae. No. 334: 255-257p.
- PALIS, R.G.; ROSE, C.W.; SAFFIGNA, P.G. 1997. Soil erosion and nutrient loss. Effect of slope length on runoff, sediment yield, and total nitrogen loss from steep slopes in pineapple cultivation. Australian Journal of Soil Research. 35:907-923p.
- PRASAD, R.; POWER, J.F. 1997. Soil fertility management for sustainable agriculture. Florida, USA. CRC Press. 356p.
- RUBIN, B.D.; HYMAN, G.G. 2000. The extent and economic impacts of soil erosion in Costa Rica. En: Hall, C.A. 2000. Quantifying sustainable development. The future of tropical economies. Florida, USA. Academic Press. 449-469p.
- SCHW AB, G. O. 1992. Soil and water conservation engineering. 4 ed. N.Y, USA. Wiley. 507p.
- SUGAHARA, K. 2001. Erosion control in pineapple fields on the island of shigaky. Japan Agricultural Research. 53 (2); 91-96p.
- UNGER, P.W. 1994. Managing Agricultural Residues. Florida, USA. CRC Press. 448p.
- V AHRSON, G.W. 1990. El potencial erosivo de las lluvias en Costa Rica. Agronomía Costarricense. 14(1): 15-24p.
- V AHRSON, G.W. 1991. Memoria: Taller de erosión de suelos. Heredia, Costa Rica. Universidad Nacional. 250p.
- V AHRSON, G.W.; DERCKSEN, P. 1990. Intensidades críticas de lluvia para el diseño de obras de conservación de suelo en Costa Rica. Agronomía Costarricense. 14 (2): 141-150p.