

**Determinación y valoración económica de la
erosión hídrica en terrenos afectados por
incendios forestales en Tatumbla,
Departamento de Francisco Morazán,
Honduras.**

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

Presentado por

Guillermo Maura Pazmiño

Honduras
Diciembre, 2002

El autor concede a Zamorano permiso
para reproducir y distribuir copias de este
trabajo para fines educativos. Para otras personas
físicas o jurídicas se reservan los derechos de autor.

Guillermo Maura Pazmiño

Honduras
Diciembre del 2002

Determinación y valoración económica de la erosión hídrica en terrenos afectados por incendios forestales en Tatumbla, Departamento de Francisco Morazán, Honduras.

presentado por:

Guillermo Maura Pazmiño

Aprobada:

Carlos Gauggel Arévalo, Ph.D.
Asesor Principal

Peter Doyle, M.Sc.
Coordinador de la Carrera de
Desarrollo Socioeconómico y
Ambiente

Luis Caballero, M.Sc.
Asesor

Antonio Flores, Ph. D.
Decano Académico

Marco Granadino, M.Sc.
Asesor

Mario Contreras, Ph. D.
Director General

George Pilz, Ph. D.
Coordinador PIA

DEDICATORIA

A Dios por darme esta oportunidad.

A mis padres por todo su apoyo, ejemplo y enseñanzas; son mi fuente de inspiración y orgullo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todas las personas que hicieron posible la realización de este trabajo.

A mi asesor principal, Carlos Gauggel, Ph. D. por las enseñanzas fuera de las clases y la materia; consejos, apoyo esmerado en este trabajo, su buen ejemplo como científico, maestro, profesional, persona; y sobre todo por enseñarme que: “¿Para qué los libros?”.

A Luis Caballero Ms.C. por su esmerada labor de todos los días como maestro.

A Marco Granadino, Ms.C. Por ser un corrector implacable de este documento, apoyo y cordialidad en este trabajo.

A la Ing. Hilda Flores y las demás personas que trabajan en el laboratorio de suelos de Zamorano.

Al Ing. Jorge Guillén por acompañarme durante toda mi carrera y no dejar de hacer que repare en mis errores.

A mis compañeros que hicieron que mi estadía acá sea llevadera: Shadia, Linda, Xiomara, Gabriela, Cristina, Braulio, Jonny, Federico, Víctor, Xavier, Cristóforo, Crístofer, Juan Félix, Dan, René, Juan Carlos y toda la demás gente del PIA.

AGRADECIMIENTO A PATROCINADORES

Al gobierno de los Estados Unidos de América a través de la USAID, por el programa estudio trabajo.

RESUMEN

Maura Pazmiño, G. 2002. Determinación y Valoración Económica de la Erosión Hídrica en Terrenos Afectados por Incendios Forestales en Tatumbla, Departamento de Francisco Morazán, Honduras. Proyecto Especial del Programa de Ingeniero Agrónomo, Zamorano, Honduras. 46 p.

Los incendios forestales son un problema ambiental relevante en Honduras; luego de ocurridos, los ecosistemas afectados son vulnerables a la erosión hídrica que produce pérdida de suelo y nutrientes, de los cuales en la actualidad se desconoce el impacto en términos monetarios de cuanto podría llegar a representar. Para avanzar en ese propósito se desarrolló una valoración económica de la erosión hídrica en este tipo de lugares, basada en el costo de reemplazo de la materia orgánica, nitrógeno, potasio, calcio y magnesio que acarrea la tasa de erosión neta (determinada mediante “mesh bag method”), influenciada por la ocurrencia de un incendio forestal en un *Typic Paleustalfs*, del orden de los Alfisoles, con 42 % de pendiente, ocupado por *Pinus oocarpa* y *Quercus segoviensis* en su mayoría. Se encontró que la tasa de erosión neta provocada por el incendio fue de 157.46 kg/ha año, lo que representaba una pérdida de al menos 8.47 Lps/ha año, usando como fuentes de reemplazo los fertilizantes más comunes y baratos en el mercado; esta pérdida, que en términos de kg/ha de nutrientes es baja, se magnifica al extrapolarla a la cantidad de bosque quemado en el país desde 1996 a octubre del 2002, el valor actual de esta pérdida representa al menos U.S.\$ 179,941; además se encontró diferencias significativas (SNK, $P < 0.05$), entre la cantidad de material erodado en el área quemada (159.8 ka/ha año) y no quemada (2.4 kg/ha año); en una relación de 66.5:1. Este estudio ofrece una aproximación de lo que puede perderse en términos monetarios por efecto de la erosión, sirviendo estos resultados como justificación para la implementaciones de proyectos de control de incendios, conservación biológica y pagos por servicios ambientales. Sin embargo se recomienda realizar estudios más precisos que tomen en cuenta otras variables, para poder determinar exactamente la tasa de erosión. Además quedan aspectos que no se pueden valorar con los datos obtenidos, como la pérdida irreversible de nutrientes a largo plazo, profundidad del suelo y potencial de producción de biomasa en este tipo de ecosistemas.

Palabras clave : Costo de reemplazo, erosión, “mesh bag method”, tasa de erosión.

Dr. Carlos Gauggel

Nota de Prensa.

EL COSTO DE LA EROSIÓN DESPUÉS DE UN INCENDIO FORESTAL

Seguramente nos hemos dado cuenta que año con año, durante los meses de verano, se presenta una capa de humo densa que nos envuelve, en la mayoría de los casos el humo proviene de incendios forestales. Luego que el fuego hizo su trabajo, los bosques quedan muy propensos a erosión por la eliminación de gran parte de su cobertura y por ende a perder su fertilidad.

La imagen de un bosque quemándose, el cual luego de las lluvias perderá parte de su fertilidad, es una escena que se repite constantemente, sin embargo, se han preguntado, ¿Si tuviéramos que contabilizar las pérdidas en términos monetarios, cuánto le cuesta a los hondureños un incendio forestal?.

En Zamorano se realizó un estudio en el año 2002 en un cerro ocupado por un bosque de pino y roble, junto a la Carretera Panamericana, desvió a Tatumbla; en un suelo franco arenoso con 40% de pendiente.

El objetivo fue determinar el valor de la pérdida de nutrientes a causa de la erosión y medir la cantidad fertilizantes de alto y bajo costo que tendría que utilizarse para reponer su capa fértil.

Se encontró que la pérdida oscilaba entre 8.47–10 Lps/ha, lo cual es poco a simple vista, mas si se toma en cuenta la cantidad de bosque que se ha quemado desde 1996 a octubre del 2002, la pérdida de nutrientes por efecto de la erosión luego de incendios forestales asciende a por lo menos Lps. 3,005,019 (aproximadamente U.S.\$ 179,941); además se encontró, que por cada libra de suelo que se erosiona en un bosque no incendiado, se erosionan 66.5 en uno incendiado.

Cabe entonces reflexionar, ¿Debemos todos ayudar de alguna manera a prevenir este tipo de flagelos? Con los resultados de este estudio la respuesta es más que evidente. Sin embargo es importante destacar que en este tipo de eventos hay pérdidas que ni el más cuidadoso estudio podrá cuantificar puntualmente.

Lic. Sobeyda Álvarez

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Autoría.....	ii
Página de firmas.....	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimientos.....	v
Agradecimiento a patrociantores	vi
Resumen.....	vii
Nota de Prensa.	viii
Contenido	ix
Índice de cuadros	xi
Índice de figuras.....	xii
Índice de anexos.....	xiii
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL ESTUDIO	2
1.2 LIMITES DEL ESTUDIO	3
1.3 OBJETIVOS	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos	3
2 REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 INCENDIOS FORESTALES	4
2.1.1 Definición y origen de los incendios forestales.....	4
2.1.2 Implicaciones ecológicas	5
2.1.3 Efectos del fuego en el suelo	5
2.2 EROSIÓN	7
2.2.1 Relación con los incendios forestales	7
2.2.2 Factores erosivos.....	8
2.2.3 Factores que influyen en el proceso de erosión hídrica	9
2.2.4 Tipos de erosión hídrica.	10
2.2.5 Efectos de la erosión en el suelo.....	10
2.3 VALORACIÓN ECONÓMICA.....	11
2.3.1 Método de costo de reemplazo	12
2.3.2 Otros métodos	14
3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
3.1 DELIMITACIÓN DE PARCELAS	15
3.2 CARACTERIZACIÓN DEL SITIO	15
3.3 ESTIMACIÓN DE LA TASA DE EROSIÓN	15
3.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	17
3.4.1 ANDEVA del suelo recolectado según ubicación y ocurrencia de incendio	17
3.4.2 Comparaciones ortogonales.....	18

3.5	VALORACIÓN ECONÓMICA.....	18
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19
4.1	CARACTERIZACIÓN DE LAS PARECELAS Y EL SITIO	19
4.2	ESTIMACIÓN DE LA TASA DE EROSIÓN	20
4.2.1	Estimación mediante la EUPS.....	21
4.3	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	22
4.3.1	ANDEVA: suelo recolectado según ubicación y ocurrencia de incendio	24
4.3.2	Separación de medias de la cantidad de suelo recolectado	25
4.4	CONTRASTES ORTOGONALES.....	26
4.5	VALORACIÓN ECONÓMICA.....	26
4.5.1	Pérdida de nutrientes	26
4.5.2	Valoración	28
5	CONCLUSIONES	31
6	RECOMENDACIONES	32
7	BIBLIOGRAFÍA	33
8	ANEXOS	36

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro

1	Incendios forestales en Honduras desde 1996 a octubre del 2002.....	1
2	Comparación del área afectada y el número de incendios forestales por municipio y años en la región del Yeguaré (1997-1999).....	4
3	Textura, resistencia a la penetración y densidad aparente, para los perfiles de suelo descritos en las calicatas 1 y 2.....	19
4.	Total de suelo recolectado (g) por tratamiento y repetición.....	22
5.	Cantidad de suelo recolectado en promedio por bolsa por tratamiento a lo largo de la duración del estudio.....	23
6.	Análisis de varianza del suelo recolectado según ubicación y ocurrencia del incendio.....	25
7.	Análisis de separación de medias de los tratamientos del estudio.....	25
8.	Contrastes ortogonales entre los 4 tratamientos del estudio.....	26
9.	Cantidad de nutrientes perdidos por efectos de la erosión y aportados por el incendio.....	27
10.	Valoración económica de nutrientes perdidos por efecto de la erosión en sitios incendiados, dos escenarios.	29
11.	Valoración económica mediante costo de reemplazo de las pérdidas por erosión en sitios afectados por incendios forestales en Honduras (1996-Octubre 2002).....	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura

1	Cifras promedio de superficies (millones de hectáreas), recorridas por el fuego anualmente en el mundo.....	2
2.	Bolsas utilizadas para estimar la tasa de erosión.....	16
3	Ilustración del diseño experimental utilizado en la medición de erosión en bosque de pino 2002.....	17
4.	Ilustración del diseño experimental, ANDEVA de suelo recolectado según ubicación y ocurrencia de incendio	18
5.	Cantidad de suelo recolectado (gramos/ bolsa), para los 4 tratamientos, en las 18 semanas de duración del experimento.....	23
6	Cantidad de suelo colectado (g/mm bolsa), según la acumulación de precipitación.....	24
7.	Ciclo de nutrientes en un bosque.....	27

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo

1.	Caracterización de las parcelas usadas en el estudio.....	37
2.	Descripción de las calicatas 1 y 2 realizadas en el estudio.....	38
3.	Detalle de recolección sedimentos en las bolsas	39
4.	Detalle de la precipitación ocurrida durante el estudio (30/05/02-16/10/02)....	41
5.	Análisis de suelo parcela quemada y no quemada a dos profundidades distintas.....	44
6.	Análisis de suelo del material erodado.....	45
7.	Cálculos de kg/ha de nutrientes perdidos.....	46

1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, los incendios forestales son una gran preocupación por su fuerte poder destructivo y los efectos socioeconómicos y ambientales que generan. Entre esos efectos podemos mencionar: daños al bosque, degradación de suelos (por su efecto en la vulnerabilidad a erosión), contaminación de agua y aire (humo), alteración de especies animales y vegetales, degradación y pérdida de fuentes de agua y alteración de la cadena trófica (Figueroa, 1999).

Los incendios forestales constituyen un problema ambiental importante en Honduras. Actualmente no se conoce exactamente cual es el daño económico que pues los diversos recursos que están inmersos en estos ecosistemas muchas veces no han sido cuantificados, o no cuentan con un mercado o un precio de intercambio (Lazo, 2001).

Las estadísticas que presenta AFE-COHDEFOR para el año 1997, muestran que hay un patrón de causas de incendios forestales a nivel nacional que es: 7% quemas agrícolas sin control; 11.5% quemas por ganaderos para renovar pastos y controlar insectos; 25.5% accidentes de diferente índole (fumadores, caminantes nocturnos, cazadores, colectores de miel, etc.) y 56% incendiarios (quemadas intencionales) (Travieso 1998; citado por Figueroa 1999).

En el ámbito nacional, la frecuencia y dimensiones físicas de los incendios forestales es muy alta, (Cuadro 1); esto se relaciona directamente con la cantidad de bosque que es más propenso a tener elevadas tasas de erosión por esta causa, además de que ocurridos los incendios, el suelo queda sin la cobertura de las especies que conforman el sotobosque, causando a su vez un efecto en sus dinámicas poblacionales.

Cuadro 1. Incendios forestales en Honduras desde 1996 a octubre del 2002.

Año	No. de incendios	Hectáreas quemadas
1996	1,148	4,7921
1997	1,941	183,638
1998	2,260	96,623
1999	1,820	54,986
2000*	2,336	82,356
2001*	1,613	41,245
2002*?	2,152	63,442
TOTAL	13,270	57,0211

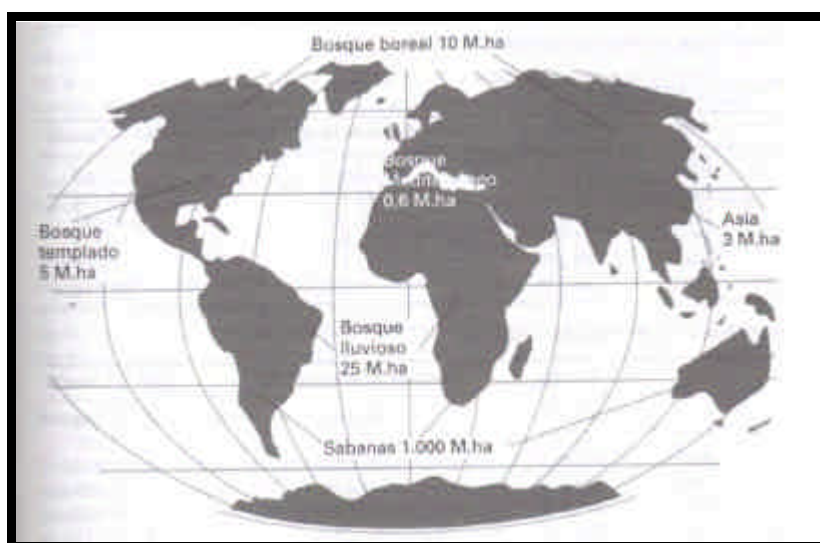
Fuente: COHDEFOR 2000; citado por Lazo (2001).

*Fuente: Ing. Luis Sosa, COHDEFOR

?: Incendios reportados hasta octubre del 2002

1.1. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL ESTUDIO

La globalización de las comunicaciones y los flujos de información, han cambiado radicalmente la perspectiva de fenómenos como el de los incendios forestales, que parecían ligados a circunstancias locales. Analizar este fenómeno desde una perspectiva global, tal como lo muestra la figura 1, permite entenderlo mejor, limpiándolo de leyendas e interpretaciones subjetivas (Vélez, 2000); lo cual nos lleva a darnos cuenta que no se trata de un fenómeno aislado.



Fuente: Ricardo Vélez Muñoz, 2000

FIGURA 1. Cifras promedio de superficies (millones de hectáreas), recorridas por el fuego anualmente en el mundo.

En términos generales, las implicaciones de los problemas que causan los incendios forestales no son percibidas a simple vista, si no se hace una valoración económica de lo que se pudiera potencialmente estar perdiendo en términos monetarios, como por ejemplo en el caso de los cálculos realizados por el Comité de Planificación Hidráulica de la Oficina de Recursos Nacionales en Mississippi, Estados Unidos en 1934, los cuales hacían ascender a 4000 millones de dólares anuales las pérdidas monetarias sufridas por ciudadanos estadounidenses a causa de la erosión. A juicio del citado Comité, esto justifica bien un desembolso del gobierno de 20 millones de dólares anuales para la lucha contra la erosión (Ayres, 1960).

En América Latina, uno de los casos más críticos es el de Argentina, en el cual se estiman que las pérdidas económicas debidas a la degradación de suelos (entre ellas la erosión), ascienden a 700 millones de dólares por año (FAO, 1993).

En la región de Yeguaré, donde se ubica nuestro estudio, por efecto de los incendios forestales se presenta un deterioro ambiental que apunta a una reducción drástica de la

cobertura boscosa y como consecuencia una potencial pérdida de las fuentes de agua. Además, la zona presenta una proliferación de incendios y prácticas inapropiadas de explotación agrícola y forestal (Figueroa, 1999).

El presente trabajo pretende determinar las tasas de erosión producidas en Tatumbra ocurridas luego de los incendios forestales, su valor económico; y compararlas con lugares que no han sido afectadas por estos eventos. Se espera con ello crear conciencia sobre la magnitud del problema y promover la acción comunitaria para su prevención y control.

1.2 LIMITES DEL ESTUDIO

El estudio se limita a evaluaciones de valoración económica de la erosión en bosques de pino, en la zona de amortiguamiento cercana la desvío a Tatumbra, departamento de Francisco Morazán, afectados por incendios forestales en el año 2002. Esta es un zona protegida dedicada a la producción de agua para el municipio de Tatumbra y el distrito central.

Las mediciones de erosión más confiables son las que se realizan en un período largo de tiempo; sin embargo el presente estudio se limita a medir la erosión causada por el período lluvioso del año 2002.

El método “ Mesh bag method” (Hsieh, 1992) usado para estimar la erosión no es completo, no recoge la escorrentía producida, y pierde una fracción de los coloides del suelo con sus nutrientes adheridos. Los nutrientes que se tomaron en cuenta para hacer la valoración económica fueron: N, P, K, Ca, y Mg solamente, dejando por fuera el resto de micro elementos.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Determinar y valorar económicamente la erosión hídrica, influenciada por los incendios forestales en bosques de pino en Tatumbra.

1.3.2. Objetivos específicos

Estimar la tasa de erosión en parcelas de bosque natural de pino afectadas por incendios en el verano del 2002, con base a la cantidad de precipitación ocurrida, comparando el lugar quemado con el lugar más cercano no quemado.

Estimar el valor económico del suelo erodado con base al costo de reposición de nutrientes

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 INCENDIOS FORESTALES

Según Vélez (2000), la legislación española define al incendio forestal como el fuego que se extiende sin control sobre terreno forestal, afectando la vegetación que no estaba destinada a arder, deduciendo de esto que el incendio forestal es un fuego de vegetación no agrícola, excluyendo la quema de rastrojos, a excepción que pase a un bosque.

2.1.1 Definición y origen de los incendios forestales

En Centroamérica los incendios forestales son prácticamente intencionados en su totalidad, esto probablemente originado por una práctica neolítica de cultivo, arraigada en una mentalidad tradicionalista, pero impuesta además por las condiciones naturales y sociales; esto aunado a la ley forestal que permite la corta de árboles por muerte del bosque (Vélez, 2000), provocan la depredación del recurso forestal en grandes cantidades anualmente. En Honduras, entre las causas de los incendios forestales, prevalecen las de origen antropológico (Figuroa 1999).

En la región donde, y específicamente en el municipio de Tumbula, el siguiente cuadro da una idea clara de la magnitud de los incendios forestales.

Cuadro 2. Comparación del área afectada y el número de incendios forestales por municipio y años en la región del Yeguaré(1997-1999).

MUNICIPIO	1997		1998		1999	
	No. Incendios	Has. Quemadas	No. Incendios	Has. Quemadas	No. Incendios	Has. Quemadas
San Antonio de Oriente	38	1586	22	575	26	407
Tumbula	18	770	14	411	7	9
Yuscarán	27	1904	18	505	30	134
Morocelí	14	1428	16	322	22	201
Güinope	13	1259	39	687	11	66
Maraita	13	777	7	140	4	10
TOTAL	123	7760	116	2640	100	826.6

Fuente: Proyecto UNIR; citado por Figuroa, 1999.

2.1.2 Implicaciones ecológicas

El incendio es un proceso autoacelerado de oxidación con liberación súbita de energía, de gases (nitrógeno, anhídrido carbónico) y de nutrientes en forma de cenizas. Sus efectos destructores o renovadores, dependen de los factores intrínsecos (frecuencia, intensidad, tamaño y forma del incendio y momento en el que éste se produce) y de otros propios de la estación y de la vegetación que está sustentada (factores climáticos, geomorfológicos, topográficos, edáficos, estructurales, florísticos, y fenológicos) (Ruiz, 2000).

Según Ruiz (2000) el fuego es un elemento natural que puede influir en la repartición, y selección de las especies, y la composición de formaciones vegetales, tal como es el caso de especies de los géneros *Citrus*, *Eucaliptus* o *Pinus*, las cuales se diseminan eficazmente solo luego del paso del fuego.

2.1.3 Efectos del fuego en el suelo

Un incendio forestal es un evento dramático que modifica los Parámetros físico-químicos en el suelo. La intensidad de esta modificación está relacionada con las temperaturas que se desarrollan en la superficie, a medida que esta aumenta, se causa un decrecimiento en el contenido de arcillas y limo, puesto que el fuego promueve la agregación de estas en granos grandes de arena resistentes a las acciones físicas del agua. Así mismo la organización de las partículas puede cambiar y la estructura del suelo puede pasar de fina a granular o masiva; (Giovannini y Lucchessi, 1997, citado por Summer, 2000).

Las propiedades físicas del suelo varían después de haber ocurrido un incendio; según Sánchez (1981) en casos similares de quemaduras en bosque de pino (*Pinus banksiana*) de 32 años de edad, agregó entre 5 y 54 ton/ha de ceniza, lo que aportó al suelo entre 46-596 kg/ha de K y de 37-1128 kg/ha de Ca.

El pH aumenta después de la quema y baja gradualmente con el tiempo, debido a la lixiviación de las bases. La magnitud y rapidez de estos cambios varían con las propiedades del suelo y la cantidad de ceniza producida después de la quema (Sánchez, 1981). Los cationes básicos dejados por las cenizas producen aumentos dramáticos en los niveles de calcio y potasio intercambiables después de la quema (Sánchez, 1981).

Estudios de los efectos de incendios forestales en la erosión hídrica realizados por Rubio *et al.* (1995), demuestran que la tasa de erosión está altamente ligada a la intensidad de la lluvia. Además los cambios en pH, conductividad eléctrica, nitrógeno como amonio y como nitrito, muestran correlaciones significativas con la temperatura del fuego, así como también que los niveles de fósforo, conductividad eléctrica y nitrógeno en forma amoniacal, muestran fuertes incrementos un mes después del fuego; se encontró también pérdidas de nitratos y Ca.

Según la intensidad del fuego, este puede destruir la materia orgánica depositada en la superficie a temperaturas de 200-300 °C, el 85% de las sustancias orgánicas pueden ser destruidas, consecuencia de esto es la pérdida de la alta capacidad de intercambio

catiónico que la caracteriza. La pérdida de nitrógeno y potasio están sujetos a volatilización y liberación a temperaturas de 100-200 °C. (Barbour, Burk y Pitts, 1980).

Otros nutrientes como sodio, calcio y magnesio son liberados y depositados a moderadas temperaturas y son rápidamente recicladas en la biota (DeBano *et al.*, 1977; citado por Barbour, Burk y Pitts, 1980).

Según Ruiz (2000), existen varios efectos asociados a los incendios forestales, los cuales al provocar la eliminación de la cobertura vegetal, la combustión de la materia orgánica y aumento de la temperatura, producen en el suelo cambios en las propiedades físicas químicas y biológicas, cuya magnitud depende de la duración del incendio y la disposición, estructura, y grado de humedad del suelo. Estos efectos pueden ser:

- Consumo de la materia orgánica y destrucción de los agregados que acaban dispersados por las gotas de lluvia.
- El suelo cubierto por el color oscuro de la ceniza que queda luego del incendio, pierde su capacidad de reflexión, aumentando su temperatura y evaporación al mismo tiempo que disminuye la absorción y retención de agua, la porosidad y aireación y la capacidad de infiltración superficial, siendo el efecto más importante de esta situación la reducción de la disponibilidad de agua y un aumento de la escorrentía y el peligro de erosión.
- La formación de una capa impermeable al agua, por el efecto de condensación de las sustancias hidrófobas presentes en el tejido esponjoso que forma el mantillo, que al arder bajo la zona recalentada pueden formarla; este fenómeno a pesar de que fue descrito en principio en suelos arenosos, se lo ha observado en otros tipos de suelo y contribuye en gran parte al peligro de escorrentía y erosión.
- Calentamiento de los materiales arcillosos provocado por situaciones extremas conducentes a su transformación.
- Desintegración de rocas que se fragmentan facilitando así su erosión por otros agentes, y favoreciendo al incorporación de sus partículas y elementos al suelo.
- Liberación de nutrientes a través de la calcinación de la vegetación en donde estos estaban inmovilizados.
- Volatilización del nitrógeno total, relacionada con las temperaturas alcanzadas y la materia seca consumida.
- Nutrientes como P, Mg, Ca, y parcialmente K, pueden ser devueltos por las cenizas de forma que tras el incendio puede haber un aumento de la fertilidad, efímero pero crucial para la regeneración del monte.

- El mayor peligro que se puede dar es la erosión especialmente en pendientes fuertes o cuando no existe una estructura del suelo favorable.
- El aumento de la temperatura del suelo y el incremento del pH que suelen proporcionar las cenizas con suficiente humedad activan el desarrollo de hongos y favorecen la actividad bacteriana, cuya población puede llegar en pocos días a ser mayor que antes del incendio.

Existen sustancias hidrofóbicas en la materia en descomposición en la superficie de los bosques, esto forma una capa que no permite el paso del agua en el suelo, es decir forma un tipo de capa no permeable, El gradiente de temperatura que se da durante los incendios hace que esta capa se desplace hacia abajo en el suelo, quedando una capa permeable de suelo tanto arriba como bajo a ésta, lo cual puede favorecer a la erosión laminar en la superficie del suelo (Barbour, Burk y Pitts, 1980).

El efecto del fuego es usualmente reducir la población de hongos, pero aumentar la población de bacterias y actinomicetos; estos cambios no son consecuencia del fuego directamente, mas si de los datos en el ambiente luego del incendio y las condiciones para que esto ocurra varían de sitio en sitio.(Barbour, Burk y Pitts, 1980).

2.2 EROSIÓN

Se puede definir la erosión como la remoción del material superficial por acción del viento o del agua (Kirkby y Morgan, 1984), existiendo básicamente dos maneras de medir esta remoción: calcular o estimar cuanto suelo se ha perdido en un lugar, y medir cuanto suelo se ha acumulado en otro (FAO, 1997). En el presente estudio se realizó esta estimación de la tasa de erosión de la segunda forma. La tasa de erosión es la cantidad de material superficial (suelo), transportado o removido de un lugar determinado, la cual se expresa generalmente en toneladas por hectárea al año.

La erosión en el suelo es un proceso con dos fases consistentes en el desprendimiento de partículas individuales de la masa del suelo y su transporte por los agentes erosivos, como las corrientes de agua y viento (Morgan, 1996).

2.2.1 Relación con los incendios forestales

Según estudios hechos por Lal (1999), existen menores tasas de erosión en bosques no perturbados con buena cubierta vegetal, siendo generalmente menor de 1 TM/ha/año. Por el contrario en bosques perturbados, donde los incendios causan las mas grandes perturbaciones, (además de actividad humana, construcción de carreteras, y cosecha de madera), puede exceder los 100 TM/ha año; lo cual nos da una idea de la magnitud del incremento en las tasas de erosión que causan este tipo de eventos.

2.2.2 Factores erosivos

La erosividad de la lluvia es uno de los factores estrechamente relacionados a las pérdidas de suelo; esto está determinado por la energía cinética que es adquirida por las gotas de lluvia en su caída, ésta provoca el desprendimiento de las partículas de suelo, como se mencionó anteriormente; a esto se le debe sumar el efecto que puede causar en la escorrentía (Ayres, 1960).

Está comprobado que la erosión se relaciona con dos tipos de lluvia, la tormenta intensa de corta duración que supera la capacidad de infiltración y la tormenta de larga duración y baja intensidad que satura el suelo (Morgan, 1996). Estudios realizados por Hudson (1965; citado por Morgan, 1996) demostraron que la erosión se produce casi en su totalidad por precipitaciones de intensidad mayor que 25mm/h.

La intensidad de la lluvia es uno de los factores que determinan cuanto material pueda erosionar; es decir que existe una relación directamente proporcional entre la intensidad de las precipitaciones y sus efectos erosivos. La cantidad, intensidad y duración de la lluvia tienen un profundo efecto sobre la cantidad y proporción de la escorrentía resultante, como lo tiene el tiempo transcurrido desde la lluvia precedente (Ayres, 1960).

La erodabilidad del suelo es otro factor muy influyente en el proceso. Se puede definir esta, como la capacidad que tiene el suelo a resistir los procesos de separación, desprendimiento y transporte por fuerzas como el viento o el agua. Aunque la resistencia de un suelo a la erosión depende, en parte, de su posición topográfica, pendiente y grado de alteración, como por ejemplo mediante el laboreo (Morgan, 1996).

Esta capacidad es producto de las características inherentes al suelo tales como: textura y estructura. La estabilidad de los agregados también depende del tipo de mineral arcilloso presente, así como también la cantidad de materia orgánica, aquellos suelos con menos de 3.5%, pueden considerarse erosionables (Morgan, 1996).

La pendiente del terreno es directamente proporcional a las pérdidas de suelo por efectos de erosión, sin embargo es difícil separar su efecto del provocado por la cobertura del terreno. Existe un efecto neto de material erodado más pendiente abajo, que pendiente arriba puesto que las gotas de lluvia dispersan mas cantidad de suelo en este sentido.

La vegetación actúa como una capa protectora o amortiguadora entre la atmósfera y el suelo. Los componentes aéreos, como hojas y tallos, absorben parte de la energía de las gotas de lluvia y del agua en movimiento, de modo que su efecto es menor que si actuaran directamente sobre el suelo (Morgan, 1996).

2.2.3 Factores que influyen en el proceso de erosión hídrica

En términos generales, una expresión que nos da una idea de los factores que afectan la erosión es la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (EUPS) [1], desarrollada por Wischmeier y Smith en 1978 (Summer, 2000), la cual consiste en la siguiente expresión:

$$E = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad [1]$$

Donde E, es la pérdida media anual del suelo en t /ha año, R es el índice de erosividad pluvial, K es el factor de erodabilidad del suelo, L es el factor de longitud de la pendiente, S es el factor de gradiente de la pendiente, C el factor de manejo del cultivo y P es el Factor de control de la erosión (Morgan, 1996).

Los procesos de erosión hídrica están relacionados con las rutas que sigue el agua en su paso a través de la cobertura vegetal y su movimiento sobre la superficie del suelo, por lo tanto su fundamento descansa sobre el ciclo hidrológico. Hay que tomar en cuenta que la precipitación que cae directamente al suelo y su interacción con la velocidad de infiltración (velocidad con que el agua pasa al interior del suelo), ejercen el control más importante sobre la generación de escorrentía superficial (Morgan, 1996).

Según Norton (1945; citado por Morgan, 1996), si la intensidad de lluvia es superior a la capacidad de infiltración, la velocidad de infiltración iguala a la capacidad de infiltración y el excedente forma escorrentía superficial, la cual está íntimamente ligada a los procesos erosivos. Esta relación entre intensidad de la lluvia y capacidad de infiltración no se mantiene siempre (Morgan, 1996). Trabajos de Morgan *et al.* (1986; citado por Morgan, 1996) en Inglaterra, sobre terrenos arenosos muestran que la capacidad de infiltración es mayor que 400mm/h, sin embargo se registran escorrentías medias anuales de 55 mm , con una lluvia media anual de 550 mm.

Según Morgan (1996), el efecto de consolidación que mejor se aprecia es la formación de costra superficial, habitualmente solo de pocos milímetros de espesor, que resulta en la reducción de poros por compactación del suelo .

La pendiente del terreno juega un papel importante, puesto que la lluvia tiende a desplazar partículas más pequeñas y se da un transporte neto de éstas, mayormente pendiente abajo. Esto se ve afectado por la velocidad del viento que pueden aumentar la energía con la que las gotas de lluvia caen al suelo; pudiendo este llegar a ser alrededor de 1.5 a 3 veces mayor que el producido por lluvias de la misma intensidad (Morgan, 1996).

A medida que se desarrolle la precipitación ésta adquiere velocidad, la cual supera la fuerza que mantiene cohesionadas las partículas del suelo, y por lo tanto provoca su desprendimiento. Una vez que los sedimentos han sido arrastrados al interior del flujo, serán transportados hasta el momento en que se produzca su depositación (Morgan, 1996).

La erosión puede ser parcialmente considerada como función de la cantidad y proporción de la escorrentía en relación con las características físicas y químicas inherentes al suelo (Ayres, 1960).

2.2.4. Tipos de erosión hídrica.

La erosión por salpicadura, que es el efecto de las gotas de lluvia sobre las partículas del suelo, comienza en el momento en que una gota cae sobre una superficie con pendiente, esta fuerza es transferida a la superficie del suelo y una parte es reflejada. Esto tiene dos efectos en el suelo; primero proporciona una fuerza de consolidación que compacta el suelo, y segundo, producen una fuerza rompedora, ya que el agua se dispersa rápidamente y retorna al punto de impacto en chorros que fluyen lateralmente (Morgan, 1996). Según el mismo autor la erosión por salpicadura es más importante para el desprendimiento de partículas del suelo que son posteriormente erosionadas por el agua, siendo este proceso el dominante en la parte más alta de colinas convexas.

Las tasas de escorrentía son relativamente altas sobre la mayor parte de la ladera, la acción combinada del flujo superficial con el impacto de las gotas de lluvia como erosión entre regueros (surcos), pueden ser el proceso erosivo dominante sobre las partes más altas y media de la ladera (Morgan, 1996).

2.2.5. Efectos de la erosión en el suelo.

La erosión es un proceso selectivo que remueve predominantemente las partículas más pequeñas del suelo, que consisten en materia orgánica y arcilla, es por esto que el sedimento encontrado producto de este proceso ha llegado a ser hasta 2.5 veces más rico en nutrientes que el suelo de la superficie (Clark, 1996).

Los suelos del trópico son mucho más susceptibles a erosión que en las zonas templadas, por lo que las tasas de erosión que se encuentran en ciertos sitios no pueden ser extrapoladas a condiciones fuera de su contexto (Clark, 1996).

Clark (1996) continúa mencionando que los impactos de la erosión en las propiedades del suelo pueden ser:

- Reducción de la profundidad efectiva de suelo (capa arable).
- Reducción en el contenido de nutrientes (nitratos, fosfatos, fosfatos insolubles).
- Reducción en el contenido de la materia orgánica.
- Incremento en el riesgo de acidificación o toxicidad.
- Pérdidas de compuestos químicos aplicados, por medio de la escorrentía y sedimentos.
- Reducción de la infiltración del suelo.
- Presencia de características indeseables en la superficie del suelo como costras.

- Daños en las características físicas del suelo como: textura, estructura y densidad aparente.
- Reducción en la capacidad de intercambio gaseoso
- Reducción de la fauna del suelo.

La erosión tiene efectos *in situ* y *ex situ*, los primeros se producen sobre la calidad del mismo que se está erosionando, tales como: pérdida de nutrimentos y capacidad productiva bajo un mismo uso; los efectos *ex situ* de la erosión se producen por la sedimentación posterior y al distancia de los materiales erosionados y por las modificaciones en el ciclo hídrico de la cuenca afectada por el arribo de esos sedimentos (Echeverría, 1991).

En el caso mas específico de tasas de erosión reportadas luego de incendios forestales, un estudio realizado por Rubio *et al.* (2001), en Valencia, España, para una región mediterránea (550-575 msnm, 13.3-25.8 °C, 30-40% de pendiente, en un *Rendzic Leptozol* de 40 cm de profundidad máxima, con una cobertura vegetal del 48%) , reporta tasas máximas de erosión ocurridas en los eventos de precipitación mas fuertes, de: de 3.2 t/ha para el caso de un incendio de alta intensidad, 2.07 t/ha para uno de mediana intensidad y 0.06 t/ha para el control no incendiado.

2.3. VALORACIÓN ECONÓMICA

Existen muchas formas de enfocar el valor o costo intrínseco que tiene un incendio forestal; podemos tomar en cuenta: el costo en que se incurre para poder controlarlos; las perdidas económicas que este ocasiona si se tratase de la quema de un rodal maderero, perdida de belleza escénica servicios ambientales, entre otros. Evaluar este tipo de impactos no es fácil, Según Gonzáles (2000) esto conlleva a la estimación de rendimientos vagamente definidos, tanto actuales como futuros, con o sin valor comercial, además de pérdidas directas, indirectas e intangibles a cuencas hidrográficas, diversidad biológica y otros valores no comerciales.

Existe una gran cantidad de fondos que se destinan a la prevención y control de incendios, tal es el caso de del servicio forestal de los Estados Unidos, el cual tubo que gastar entre 1980 y 1994 mas de 5 500 millones de dólares en estas actividades. Así mismo existen estudios que señalan una pérdida directa de 21 millones de dólares en rentas turísticas por incendios en 1988 en el área del bosque nacional de Yellowstone (Gonzales, 2000).

Por cuestiones de diversidad de enfoque y por lo difícil de la determinación de ciertos aspectos en la valoración económica, no existe un método que abarque todos los daños económicos y no económicos de manera precisa para dar una valoración exacta a este tipo de fenómeno, muchas veces el daño que puedan causar dependerá del entorno y magnitud donde se presente.

El desarrollo de un sistema universalmente aceptado para la evaluación de daños producidos por incendios forestales es complicado, puesto que implican la evaluación de

pérdidas que tienen que ver con actividades humanas como: servicios de transporte y comunicaciones, conservación de la biodiversidad, el hábitat de especies amenazadas y en peligro de extinción y la regulación del procesos de purificación del agua, entre otros (González, 2000).

En términos puramente económicos, los recursos del bosque pueden considerarse como activos de capital de baja liquidez, ya que frecuentemente no existe un mercado para estos servicios o está pobremente organizado (González, 2000); sin embargo, hasta el momento se ha hecho un esfuerzo en Zamorano, por tratar de valorar económicamente el impacto de incendios forestales, encontrándose en el caso de la Cooperativa maderera Yuscarán costos entre 24 y 350 US\$/ha (Lazo, 2001).

2.3.1 Método de costo de reemplazo

Este método es el que será utilizado para la realización del estudio, y consiste en asignar un valor aproximado a la cantidad de recursos que se están perdiendo por el impacto de un fenómeno. En este caso se asignará como el valor de la erosión, el costo de los fertilizantes inorgánicos necesarios para reemplazar los nutrientes encontrados en los sedimentos recolectados.

Según Clark (1996), este método posee dos problemas inherentes en su aplicación:

- El acercamiento del valor de la erosión en términos de sus efectos en el contenido de nutrientes no toma en cuenta ciertos aspectos como los cambios en las características físicas del suelo, contenido de materia orgánica, fauna del suelo, y niveles de muchos otros nutrientes.
- Este método falla al no reconocer las diferentes formas en las cuales los nutrientes existentes en el suelo. La erosión remueve las formas disponibles y no disponibles de estos para las plantas, mientras que los fertilizantes (su costo se toma como el costo de reemplazo), están en formas disponibles para las plantas; además estos sujetos a volatilización y otros procesos que los hacen altamente ineficientes en el reemplazo de los nutrientes del suelo.

Según El-Swaify (1993; citado por Clark, 1996) el costo de reemplazo de los nutrientes (como fertilizantes añadidos) es por si mismo insuficiente para restituir o traer de vuelta la productividad original del suelo.

El costo de reemplazo es más aceptado cuando es percibido como un acercamiento teórico de la valoración de la erosión del suelo, mas que como un potencial curso de acción (Clark, 1996).

En un estudio realizado por Dixon (1984; citado por Clark, 1996), se determino el valor de la erosión como el costo de reemplazo de nutrientes encontrados en el suelo erodado; el cual se depositó en un arrozal contiguo a la parcela experimental por acción de la

erosión, y fue removido, regresado a la parcela original, y esparcido, el costo de estas acciones también fue tomado en cuenta en la valoración.

Samarakoon y Abeygunawardena (1992; citado por Clark, 1996) realizaron un estudio en Sri Lanka, en el cual se calcularon las tasas de erosión usando la ecuación universal de pérdida de suelos, con factores adaptados para las condiciones en el área de estudio. Se realizaron dos diferentes estimaciones para la valoración.

- La primera estimación de la valoración se realizó tomando en cuenta el costo de reemplazo de el suelo y los nutrientes que este contiene. El material erodado fue reemplazado con suelo tomado de un terreno en barbecho (se asumió que estaba entre cuatro a cinco millas de distancia), el cual fue transportado en camión y esparcido en el terreno. La diferencia en el contenido de nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio y materia orgánica) entre el suelo original y el tomado del barbecho fue valorado en términos del precio de mercado de cantidades equivalentes de fertilizantes artificiales y materia orgánica. La valoración incluyó el costo de laboreo requerido para cargar, descargar y esparcir, el material del barbecho, pero no incluyó en costo de la mano de obra necesaria para añadir los fertilizantes.
- La segunda estimación fue basada en términos de reemplazo de los nutrientes en la capa arable del cultivo con fertilizantes artificiales. Se asumió que la erosión removió todo el suelo de la superficie de la tierra cultivable y el déficit de nutrientes fue calculado como la diferencia entre el contenido de nutrientes entre el suelo y el subsuelo (el suelo por debajo de la capa cultivable).

Rosenberry *et al.* (1980; citado por Clark, 1996) trató de estimar el valor de la erosión tomando en cuenta su impacto en las propiedades físicas experimentadas por los agricultores en Iowa. Incluyó en su estudio el costo de fertilizantes para mantener la fertilidad recomendada en los análisis de suelo, y el valor del declinamiento en rendimiento del cultivo que ocurre cuando incrementan las tasas de aplicación de fertilizantes e incorporó el costo del combustible para realizar preparaciones de suelo adicionales como resultado del deterioro de la estructura física del suelo.

Un estudio hecho en Mali por Pol (1992; citado por Clark, 1996) trató de evaluar el daño de la erosión tomando en cuenta un sistema más dinámico, en términos de la reserva de nutrientes del suelo, las cuales están en formas disponibles para las plantas. Él tomó en cuenta; la existencia de flujos de entrada (aplicaciones de fertilizantes, incorporación de residuos, fijación simbiótica de nitrógeno, contenido de nutrientes de las semillas, depositación atmosférica de nutrientes en la lluvia y polvo, etc) y flujos de salida (consumo de nutrientes por el cultivo, pérdidas por erosión, pérdidas por volatilización y desnitrificación, fijación irreversible de fósforo y potasio, etc). El balance neto de nutrientes esta dado por las salidas de nutrientes del suelo, menos las entradas y fue calculada para cada uno de los elementos mayores. Nitrógeno, fósforo y potasio. Los resultados fueron evaluados en términos del precio de mercado de cantidades equivalentes

de fertilizantes artificiales. La valoración incluyó el costo de cal necesaria para prevenir la acidificación por fertilizantes nitrogenados.

Un estudio realizado por Stocking (1988; citado por Clark, 1996) en Zimbabwe, calculó el costo de la erosión en términos de la pérdida de contenido de nitrógeno y fósforo en el suelo al precio de mercado de cantidades equivalentes de fertilizantes artificiales. Lo interesante de este estudio es que se realizó una regresión, la cual fue utilizada para cuantificar la relación entre la pérdida de estos nutrientes y la erosión, y luego se asumió esta relación representativa para todo Zimbabwe.

2.3.2 Otros métodos

Evaluación contingente: Consiste en preguntarle a individuos (como agricultores) a cerca de su disposición para aceptar compensaciones por los efectos de la erosión o pagar por los beneficios de reducirla como resultados de practicas de conservación de suelos (Clark, 1996).

Precios hedónicos (bienes sustitutos): Consiste en usar precios del terreno para estimar el valor económico de la erosión de suelos. Según Clark (1996) este método tiene los siguientes problemas:

- Requiere una base de datos de precio de la tierra y un muy bien desarrollado mercado de tierra agrícola.
- Asume que los individuos toman en cuenta la degradación inducida por la erosión, para tomar la decisión de un precio de renta o compra de un lote de terreno.

Cabe recalcar que muchos trabajos realizados enfocan de manera pragmática el costo de la erosión como la pérdida representada en términos monetarios con respecto a la baja de rendimientos en los cultivos donde esta se suscita, o inclusive la esperada para períodos siguientes de cosecha; este enfoque no aplica al presente estudio, puesto que no se está realizando en un lote en la cual se espera sacar beneficio económico (por lo menos a corto plazo, como en plantaciones de hortalizas o gramíneas) como en los lugares donde se han realizado estos, sin embargo es una aproximación válida para la valoración económica de este evento para zonas agrícolas.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 DELIMITACIÓN DE PARCELAS

Se seleccionaron dos parcelas, con condiciones similares de suelo, pendiente y uso, las cuales estaban solamente separadas por una ronda que fue usada para controlar el incendio, quedando ubicada una al lado incendiado y la otra en el lado no incendiado. Se realizó una caracterización de las parcelas para tomar en cuentas la diversidad de especies y como el incendio afectó en la composición de la misma (Anexo 1).

3.2 CARACTERIZACIÓN DEL SITIO

La parcela experimental se ubicó en el municipio de Tatumbla, junto al desvío a este en la carretera Panamericana; poseía una pendiente de 42% (en promedio), suelo franco, el cual actualmente está ocupado por pinos y robles, en su mayoría. La cobertura de suelo en el lugar incendiado fue entre 40-50% en su mayoría compuesta por vegetación, mientras que en el lugar no incendiado es de aproximadamente un 90-100%, y está compuesta por hojarasca y vegetación. La longitud de la pendiente desde las bolsas que se ubicaron en la parte inferior de la ladera hasta donde empieza la misma es de 56 m.

Según SERNA (2001, en Catari| 2001), La precipitación promedio en la parte alta de la zona es 1500 mm, y en la parte baja la precipitación media anual es de 1050mm. La temperatura en el sitio de estudio varía entre 15 y 38 °C, el período más frío se extiende de noviembre a enero, y la época más caliente en los meses de abril a junio. Se midió la precipitación a lo largo de la duración del estudio (702 mm, en 20 semanas) para poder relacionarla con la cantidad de erosión encontrada. El área de estudio se situó a una altura de 1267 (+/- 6.4) msnm. y en las coordenadas N: 14° 01.997', W: 87° 06.960', aproximadamente.

3.3. ESTIMACIÓN DE LA TASA DE EROSIÓN

La tasa de erosión se determinó mediante el método “mesh-bag method” (Hsieh, 1992), escogido por su simplicidad en la instalación, y bajo costo en comparación con el uso de parcelas de escorrentía; las cuales son difíciles de instalar en pendientes pronunciadas.

Se realizó un muestreo para determinar las características del suelo mediante un análisis completo en laboratorio, el cual incluyó un análisis textural, por el método de Bouyoucos, para determinar la pérdida de coloides; esto, antes y después del experimento.

Se colocó 6 bolsas de 30 cm de ancho x 50 cm de largo y 10 cm de alto (Figura 2), por parcela, las cuales eran permeables al agua, pero no a las partículas de suelo erodables finas, (por lo cual se dedujo que se perdió una fracción de los coloides del suelo). Las mismas se colocaron equidistantemente separadas de la ronda, y entre ellas aproximadamente de 3 a 5 m. Se colocó cuatro varillas de hierro de 80 cm enterradas hasta la mitad y marcadas al nivel del suelo; y se realizaron tres calicatas (descripción en el anexo 2), dos ubicadas bajo del trío de bolsas en la parte más baja de la pendiente, cada una (una en el lado quemado y otro en el lado no quemado), y una sobre la ronda entre las dos hileras de bolsas, en la parte superior de la ladera; lo cual se usó como referente de la magnitud e implicaciones de la erosión.



Figura 2. Bolsas utilizadas para estimar la tasa de erosión.

Las bolsas se colocaron con la cara abierta pendiente arriba para que de esta manera puedan captar la erosión hídrica producida. La abertura de las bolsas estuvo reforzada por varilla de hierro de $\frac{1}{4}$ de pulgada y también se las acondicionó de tal manera que dos tramos 10 cm de varilla sobresalían de la parte inferior del marco que reforzó esta abertura, lo cual sirvió para sostenerlas al suelo. La primera hilera de bolsas se colocó a 42 m del inicio de la ladera y la segunda a 14 m de esta.

Se tomaron muestras compuestas de suelo de las áreas afectadas y no afectadas por el incendio, al inicio y al final del ensayo. Después de generada suficiente lluvia y por ende erosión, las bolsas fueron reemplazadas por otras similares (semana 6, 10, 14 y 18 de empezado el experimento), vaciadas y el suelo que contienen secado, pesado y analizado. Se analizó el contenido de materia orgánica, N total, P, K, Ca, Mg y clase textural al final del experimento en el sedimento recolectado en total en la parcela afectada por el incendio. La cantidad de suelo recolectado en la parcela no afectada por el evento fue muy poca para realizar dicho análisis. De esta manera se estimó la cantidad de nutrientes que se perdieron junto con el sedimento recolectado. Como método alternativo o de apoyo, se utilizó la Ecuación universal de pérdida de suelo (EUPS), para calcular la tasa de erosión

y compararlos con los datos obtenidos con el método antes mencionado. Cabe recalcar que el método de EUPS no es desarrollado originalmente para condiciones similares a las del estudio pero se utilizará como método alternativo para comparar los resultados obtenidos.

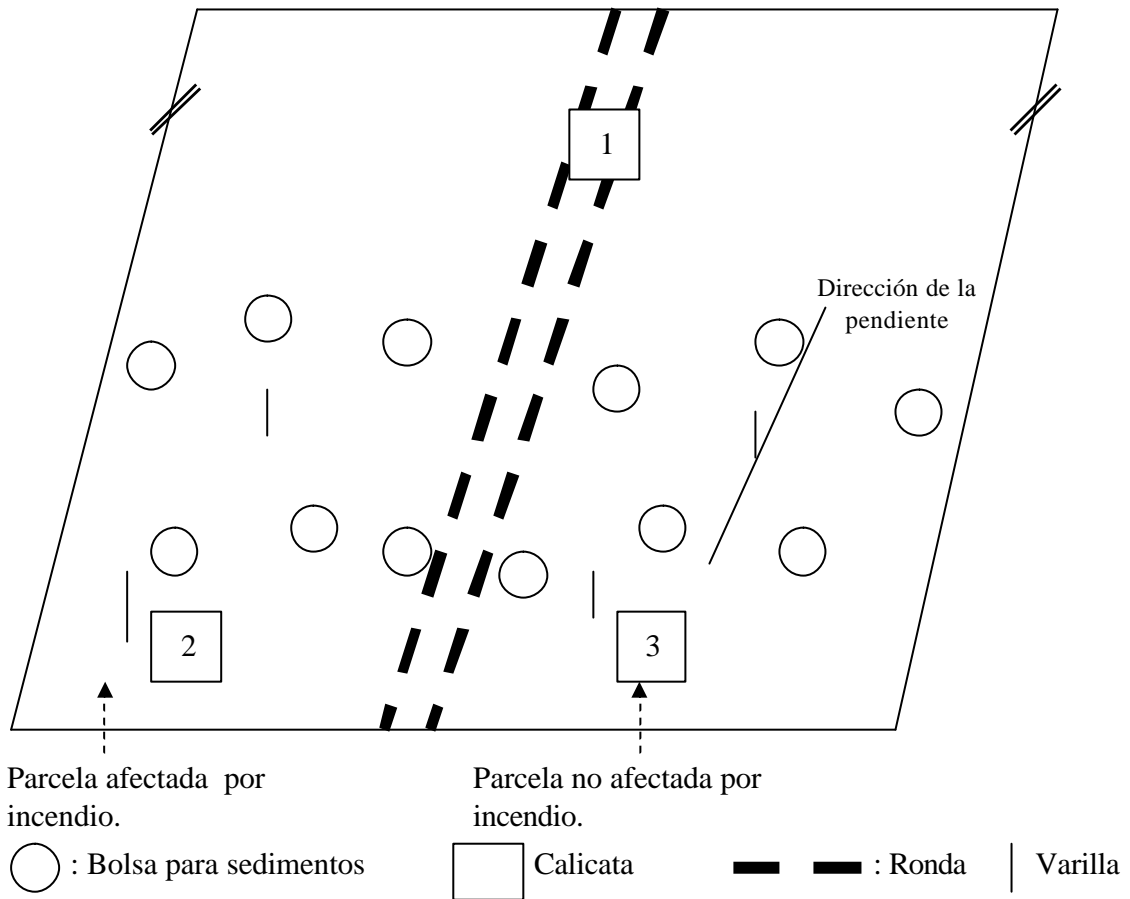


Figura 3. Ilustración del diseño experimental utilizado en la medición de erosión en bosque de pino 2002.

3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó un diseño experimental completamente al azar en cada parcela. Debido a que existieron cuatro diferenciaciones en el experimento que fueron: por ubicación a lo largo de la ladera (alta y baja) y en si la parcela fue o no afectada por incendio, el análisis se realizó en dos partes.

3.4.1. ANDEVA del suelo recolectado según ubicación y ocurrencia de incendio

Se realizó un ANDEVA y separación de medias de la cantidad de suelo recolectado al final del estudio, por la diferenciación antes mencionada. El diseño estuvo compuesto de

4 tratamientos: quemado alto (QA), quemado bajo (QB), no quemado alto (NQA) y no quemado bajo (NQB) (Figura 4), con tres repeticiones/observaciones en cada caso, que consistieron en el total se suelo recolectado a lo largo de las 18 semanas, que duró el experimento.

3.4.2. Contrastes Ortogonales.

Se realizó contrastes ortogonales entre los tratamientos antes descritos, para poder comparar la cantidad de suelo erosionado de cada tratamiento al final del estudio, de manera independiente con el resto de tratamientos.

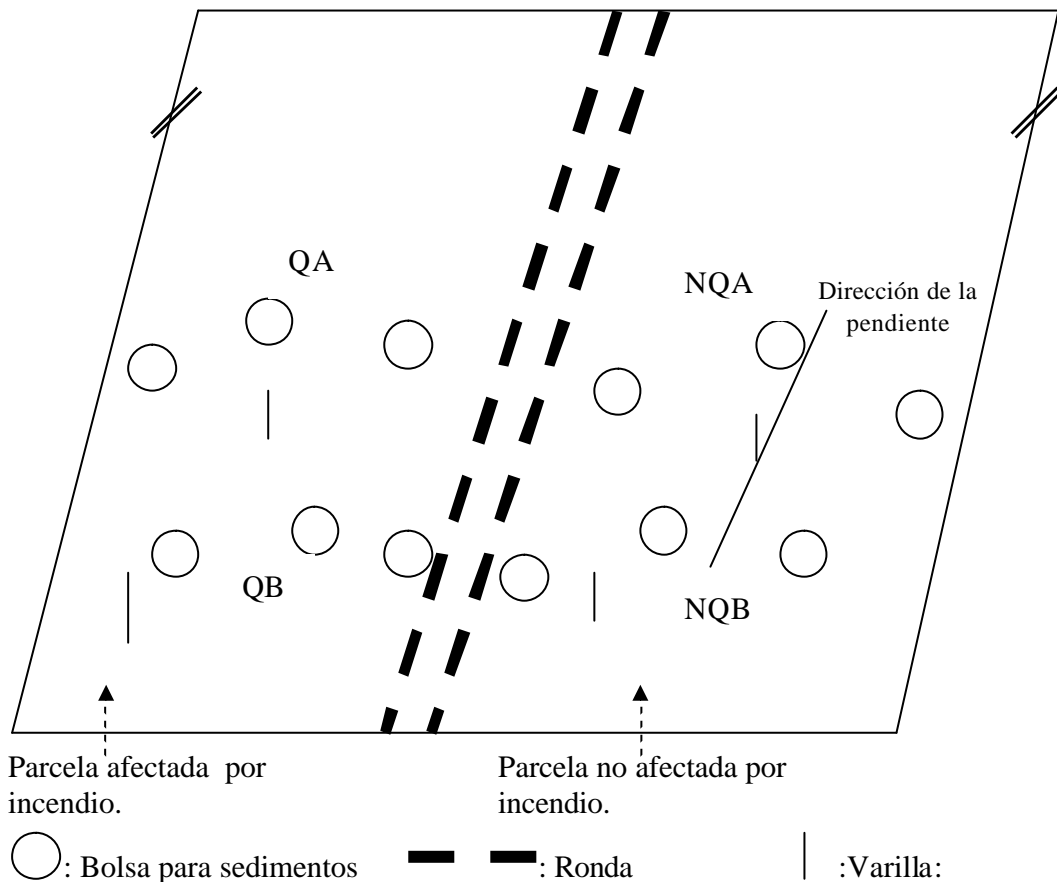


Figura 4. Ilustración del diseño experimental, ANDEVA de suelo recolectado según ubicación y ocurrencia de incendio.

3.5. VALORACIÓN ECONÓMICA

Con base en el valor comercial actual del nitrógeno, fósforo, potasio calcio y magnesio; determinado mediante análisis del suelo recolectado en las bolsas, se procede a estimar el valor económico de la erosión, como el costo de reemplazo por hectárea de los nutrientes antes mencionados, utilizando fuentes caras y baratas de fertilizantes.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS PARECELAS Y EL SITIO

El suelo del sitio en estudio es un *Typic Paleustalfs*, del orden de los Alfisoles, los cuales son suelos genéticamente maduros con un contenido de bases mayor al 35%. Las características del perfil típico del área de estudio, se muestran en el cuadro 3.

Cuadro 3.- Textura, resistencia a la penetración y densidad aparente, para los perfiles de suelo descritos en las calicatas 1 y 2.

Calicata	Tratamiento*	Horizonte	Profundidad (cm)	Clase Textural	R. P. ** (kg/cm ²)	D. A.*** (gr/cm ³)
1	Q	A	0-5	Franco	1.42	1.43
1	Q	BA	5-23	Franco Arcillosos	1.42	1.00
2	NQ	A	0-9	Franco	0.71	1.29
2	NQ	BA	9-40	Franco	1.08	1.44

*: Q: Quemado; NQ: No Quemado.

** : Resistencia a la penetración.

***: Densidad Aparente.

Nota: la descripción de las calicatas 1 y 2 se encuentran en el anexo 2.

La descripción de la calicata 3, ubicada sobre la ronda, en la parte superior de la ladera es la siguiente:

Localización: Parcela de estudio, ubicada en cerro a un lado de la carretera panamericana, junto al desvío a Tatumbla.

Pendiente: 40%

Vegetación: *Pinus oocarpa* junto con *Quercus segoviensis* y otros arbustos menores.

Clasificación taxonómica: *Typic Paleustalfs*.

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Of	2-0	Compuesto de hojas de pino y roble en diferente estado de descomposición, se reconocen los órganos de los que proviene el residuo orgánico

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A	0-18	Café oscuro (7.5 YR 3/2); franco; granular fuerte de todos los tamaños, forma granular de todos los tamaños, friable, poros muchos medianos y finos interpedales, raíces pequeñas y medias pocas, muchas raíces horizontales de todos los tamaños, límite claro y plano. Resistencia a la penetración, R. P. = 1.12.kg/cm ² .
E	18-30	Café rojizo oscuro; (5 YR 3/2); franco arcillo arenoso, bloques subangulares gruesos, consistencia firme, poros interpedales, raíces medias y finas comunes limite plano y claro. R.P. = 4.5 kg/cm ² .
BE	30-53 .	Café rojizo (2.5 YR 4/3); arcillo arenoso, arena media y gruesa, fragmentos gruesos angulares comunes, formados por arenisca consolidada, bloques angulares gruesos, débiles y muy débiles, poros pocos y finos, fragmentos vesiculares gruesos comunes, raíces pocas, plástico, maleable. R. P. =1.1 kg/cm ² .
Bt	53-83	Café rojizo (5 YR 4/4); arcillo arenoso con tendencia a arcilla; bloques angulares muy gruesos y débiles, concreciones negras comunes gruesas, fragmentos gruesos comunes. R. P = 1.5 kg/cm ² .
Bt2.	83 cm +.	Café oscuro amarillento (10 YR 4/4); arcilloso, bloques subangulares muy gruesos y débiles, muy firme pocos poros finos Arena plástica en húmedo, muy pocas raíces medianas y finas.

Podemos observar que en la parte baja de la ladera existen valores menores de resistencia a la penetración (R. P.) para los perfiles descritos en comparación con los encontrados en la parte superior, esto se puede deber a que el material que se encontró en estas calicatas es resultado de la depositación de material proveniente de la parte superior y este por lo tanto se encuentre mucho mas suelto (menos compactado) que el encontrado en la parte superior.

4.2 ESTIMACIÓN DE LA TASA DE EROSIÓN

Se tomó en cuenta que el área de influencia de cada bolsa puede ser el promedio de la longitud de la pendiente a lo largo de la cual están distribuidas (26 m), por su ancho (0.3m), es decir un área de influencia de cada bolsa de 8.24 m². La cantidad de material

erodado en las áreas quemada y no quemada fue: $0.125 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, y $0.0018 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente. Tomando en cuenta una tasa de erosión por milímetro de precipitación de $0.179 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$ y $0.003 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$, para el área quemada y no quemada respectivamente, (en base a los 702 mm de lluvia en 18 semanas), se proyectó con base al dato más aproximado de la precipitación esperada del área en el año, que fue de $891 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$, (FAO, 1985), para obtener una estimación de la tasa de erosión de: $159.86 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ y $2.4 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ para el lado quemado y no quemado respectivamente. Estas tasas de son leves ($<2.5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) según el Servicio de Conservación de Recursos Naturales de los Estados Unidos (1981).

4.2.1 Estimación mediante la EUPS

Para estimar este valor se tomó en cuenta lo siguiente:

$K= 0.13$ (Wischmeier, Jonson y Cross 1971, en Morgan 1996).

$R= 205$ (Mikhailova.1995).

$L\cdot S= 16$, tomando en cuenta un largo de la pendiente 56 m y 40% de inclinación (Bardfield, Haan y Warner, 1983).

$C= 0.003$ para el lado quemado (Tragsa, 1994).

$C= 0.001$ para el lado no quemado (Tragsa, 1994).

$P=0.8$ para el lado quemado (Bardfield, Haan y Warner, 1983).

$P=0.6$ para el lado no quemado (Bardfield, Haan y Warner, 1983).

Dada la EUPS por la Ecuación 1, y donde E es la tasa de erosión, el valor de esta para el área quemada y no quemada fue: $1.02 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ y $0.255 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$. La diferencia con los resultados de la medición directa, se pueden deber probablemente a que ésta ecuación no está diseñada ni refinada para las condiciones del estudio o a que las mediciones directas por le método usado presentan una amplia variación.

De los valores utilizados para los cálculos anteriores, el que está mas propenso a error en la fuente, es el de C , por lo cual se despeja en base a la E (tasa de erosión), encontrada mediante el método usado en el estudio. Se dedujo que el valor que correspondía a este índice es el mas bajo posible reportado en la literatura (Tragsa, 1994) que es de 0.001, en ambos casos, para las condiciones en cuestión, ya que realizado el despeje los valores obtenidos son mucho menores a este.

La importancia de calibrar estos factores de la EUPS, radica en que con los valores encontrados se pueden realizar estimaciones posteriores de las tasas de erosión en lugares similares. Esto debe ser validado con mediciones de campo pero es un buen inicio para comenzar este proceso. Aproximaciones de los valores de la EUPS, permiten tener valores de referencia para poder diseñar estructuras y prácticas de conservación de suelos.

4.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos resumidos de sedimentos recolectados en las bolsas al final del estudio según posición de la bolsa (QA; QB; NQA; y NQB) fueron los siguientes:

Cuadro 4. Total de suelo recolectado (g) por tratamiento y repetición

LADO QUEMADO		LADO NO QUEMADO	
t Tratamiento	Peso suelo(g)	Tratamiento	Peso suelo(g)
QA-1*	26.6	NQB-1*	0.47
QA-2*	78.4	NQB-2	0.8
QA-3	106.81	NQB-3	0.59
QB-1	19.71	NQA-1	2.21
QB-2*	60.23	NQA-2	1.45
QB-3	27.59	NQA-3	0.69
TOTAL**	319.34		**6.21

* Hubo una observación perdida de las 4 hechas, detalles anexo 3.

** : No Toma en cuenta la observación NQA-3-18, en totales ni análisis.

t: Q: Área quemada

NQ: Área no quemada.

A: Parte alta.

B: Parte baja.

Se observa que la proporción de suelo que se erosiona en el lado quemado; con el no quemado es alta, esta relación va incrementando a media que pasa el tiempo en el desarrollo del estudio puesto que empiezan aparecer valores nulos en la cantidad de suelo recolectado en el lado no incendiado, lo cual es causa del aumento de la regeneración de la vegetación y del hecho de que la erosión en bosques no disturbados es casi nula. Esta relación se podría haber acentuado y definido mejor si no se hubiesen perdido 4 de las 48 observaciones hechas. Detalles de toda la recolección de datos del experimento se encuentran en el anexo 3.

Los valores más altos de recolección de sedimentos se dan en las bolsas localizadas en la parte mas alta en el lado incendiado (figura 5), esto se puede deber a que estas atrapan material proveniente de una longitud mayor de la pendiente y que la acción combinada de lluvia y erosión en surcos son mayores en las partes mas altas de la ladera (Ayres, 1960).

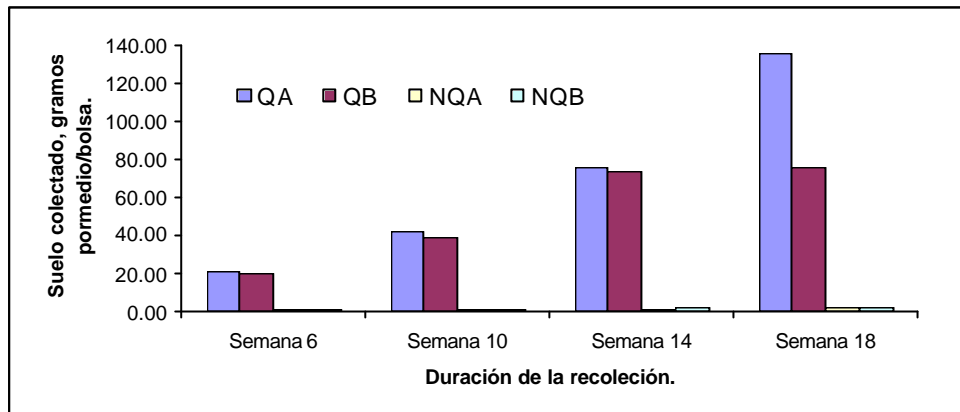


Figura 5. Cantidad de suelo recolectado (g/bolsa), según acumulación de precipitación.

En el cuadro 5, se puede apreciar la magnitud que causa en el aumento en la tasa de erosión, el solo hecho de quemar el bosque con respecto a no quemarlo. Los valores promedio de suelo erodado que captaron las bolsas ubicadas en el suelo quemado y no quemado al final del estudio fueron: 105.80 g y 1.59 g respectivamente. El valor promedio de la cantidad de suelo recolectado en el lado quemado baja considerablemente a causa de la baja en la cantidad de material recolectado en este lugar al final del estudio, lo cual se pudo deber a la regeneración de la vegetación y las menores tasas de erosión que ahí se dan.

Cuadro 5. Cantidad de suelo recolectado en promedio por bolsas por tratamiento a lo largo de la duración del estudio.

Tratamiento	Semana								Promedio QA y QB (g)
	6		10		14		18		
	promedio gr/bolsa	s (g)	promedio gr/bolsa	s (g)	promedio gr/bolsa	s (g)	promedio gr/bolsa	s (g)	
QA	20.61	*	41.71	14.73	76.01	4.309	135.68	17.297	105.80
QB	20.28	11.26	39.13	10.04	73.43	2.61	75.93	0.707	
NQA	0.18	0.03	0.58	0.30	1.08	0.36	**1.63	0.212	Promedio NQA y NQB (g)
NQB	0.96	0.04	1.06	0.10	1.55	0.10	1.55	0.000	

* No calculable por contar con un solo dato

Q: Área quemada

NQ: Área no quemada.

** No Toma en cuenta valor de NQA-3-18

A: Parte alta.

B: Parte baja.

La relación de material erodado en el suelo quemado: suelo no quemado es de 66.5:1, lo cual quiere decir que por cada unidad de suelo que se erosiona en la parte no quemada se erosionan 66.5 en la parte quemada. Esta proporción se asemeja a la reportada por

Branson *et al.* (1981; citado por Malcom, 2000) en un estudio similar en un suelo franco arenoso sobre piedra pómez, en el que encontró que luego de un incendio moderado o intenso las pérdidas de suelo pueden incrementar de 2 a 10 t·ha⁻¹·año⁻¹, a valores entre 100 y 500 t·ha⁻¹·año⁻¹. Las tasas de erosión dependerán de las condiciones del sitio y de las erodabilidad del suelo.

El aumento de la cantidad de material colectado por las bolsas a lo largo del estudio, se explica en gran parte por precipitación acumulada de 702 mm, desde el 30 de mayo, al 18 de septiembre del 2002 (Anexo 4). En la figura 6 podemos observar que a medida que fue avanzando la época de lluvias se fue acumulando material en las bolsas, esto a una tasa de 0.285 y 0.16 g/mm bolsa para los tratamientos QA y QB; y 0.003 g/mm bolsa para los tratamientos del lado no quemado. Para el tratamiento QA se observa una mayor tasa de acumulación de sedimentos en las bolsas.

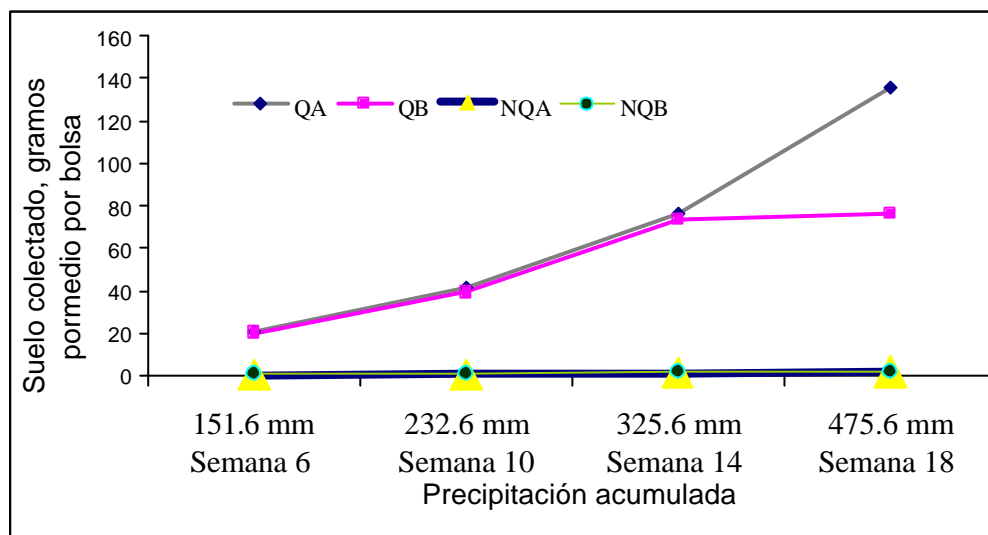


Figura 6. Cantidad de suelo colectado (g/mm bolsa) según la acumulación de precipitación.

4.3.1 ANDEVA: suelo recolectado según ubicación y ocurrencia de incendio

Las diferencias en cantidad de material colectado por las bolsas al final del estudio, (Cuadro 6) se atribuyen a la parcela donde se encuentran (lado quemado, lado no quemado, y parte alta o baja de la ladera); La media general total de suelo recolectado al final del estudio fue de 19.98 g/bolsa.

Cuadro 6 Análisis de varianza del suelo recolectado según ubicación y ocurrencia del incendio.

Fuente de variación	GL	Valor F	P>F
Modelo	3	27221.8	<0.0001
Error	3		
R2 = 0.99	CV = 169%	Media general = 19.98 g	

La variabilidad de los datos en general (CV= 169%) la podemos atribuir al rango que existe entre los datos recolectados de las parcelas quemadas y no quemadas (Cuadro 5). La variabilidad dentro de parcelas, a la irregularidad en la topografía (microrelieve) y la presencia dispereja de la regeneración de la vegetación a lo largo de la ladera. Los datos siguen una tendencia lineal ($R^2 = 0.99$), lo que indica que a mas perturbado (por incendios) esté el terreno, se dará mayor erosión.

Para probar la hipótesis de que hay diferencias en la cantidad de suelo erodado (disminución) a medida que se regenera la vegetación a lo largo del estudio, se analizaron los datos mediante un diseño de parcelas divididas en el tiempo, sin encontrarse diferencias significativas ($P=0.50$) a través de los cuatro muestreos realizados. Además se encontraron diferencias significativas en la cantidad de suelo erodado por efecto de la quema ($P=0.06$), efecto de la longitud de pendiente ($P=0.01$) y su interacciones ($P=0.01$). Los datos presentaron un CV=82% y un $R^2=0.77$.

4.3.2. Separación de medias de la cantidad de suelo recolectado

El tratamiento donde ocurrió mayor erosión al final del estudio fue QA; seguido de QB, no existieron diferencias estadísticamente significativas entre el resto de los tratamientos, (Cuadro 7). Lo anterior se puede explicar de la misma manera que el comportamiento de los datos recolectaos.

Cuadro 7. Análisis de separación de medias de los tratamientos del estudio.

Tratamiento	Observaciones	**Media (g)
Quemado Alto (QA)	1	106.81 a
Quemado Bajo (QB)	1	27.59 b
No quemado alto (NQA)	2	1.83 c
No quemado bajo (NQB)	3	0.62 c

*Medias seguidas por la misma letra no son significativas al nivel de $P<0.05$ según la prueba SNK

Se encontró diferencia estadísticamente significativa entre la cantidad de suelo encontrada en la parte quemada (mayor cantidad de suelo erodado) y no quemada (SNK, $P < 0.10$) y entre la cantidad de suero colectado en la parte alta (mayor) y baja en el área no quemada (SNK, $P < 0.10$).

4.4 CONTRASTES ORTOGONALES.

Se encontró que las diferencias en la cantidad de suelo recolectado en cada tratamientos con el resto se deben a la naturaleza de la ubicación de los de cada uno, es decir, esté en el lado quemado o no, o en la parte alta o baja dela ladera (Cuadro 8).

Cuadro 8. Contrastes ortogonales entre los 4 tratamientos del estudio.

Contraste	GL	Valor F	P>F
QA vs. resto	1	67765	<0.0001
QB vs. resto	1	563	0.0002
NQA vs. resto	1	21375	<0.0001
NQB vs. resto	1	28579	<0.0001

Los resultados de este análisis se explican en parte por la diferencia misma que existe entre la cantidad de suelo que se erosiona, dentro de la parte quemada o no quemada. Se notó que en la parte alta al final del estudio se erosionó 3.8 veces mas que en la baja, en el área quemada, y en el área no quemada 1.96 veces más.

4.5 VALORACIÓN ECONÓMICA

4.5.1 Pérdida de nutrientes

Se encontró mayores contenidos de materia orgánica y nitrógeno total en la superficie del área quemada que en la no quemada, en el análisis de suelo realizado al inicio del estudio, esto se debió en gran parte a que el calor del incendio no pudo volatilizarlos (Barbour, Burk y Pitts, 1980), por su baja severidad y rapidez, Dadas estas condiciones lo que quedó en la superficie del suelo es un material no en estado de ceniza, sino una capa oscura color carbón, lo cual debido al método usado para determinar la materia orgánica (el cual se basa en la reducción del carbono orgánico) reportó un valor alto de la misma.

La mayor cantidad encontrada de P, K Ca y Mg en la superficie quemada en comparación a la no quemada puede deberse, según Ruiz (2000), al efecto de los nutrientes devueltos por las cenizas, de forma que tras el incendio puede haber un aumento de la fertilidad, efímero pero crucial para la regeneración del monte.

Los cálculos del valor de reemplazo de los nutrientes se realizaron con base a la cantidad de suelo que se erosiona en el lado quemado, menos la que se erosiona en el lado no

quemado, por ser esta la cantidad neta que perderíamos en el terreno por el efecto de la erosión luego de un incendio ($157.46 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$). La cantidad de N, P, K, Ca y Mg encontrados en el análisis de suelo del material erodado colectado en el lado incendiado y la equivalencia neta en nutrientes perdidos por erosión se muestran en el cuadro 9.

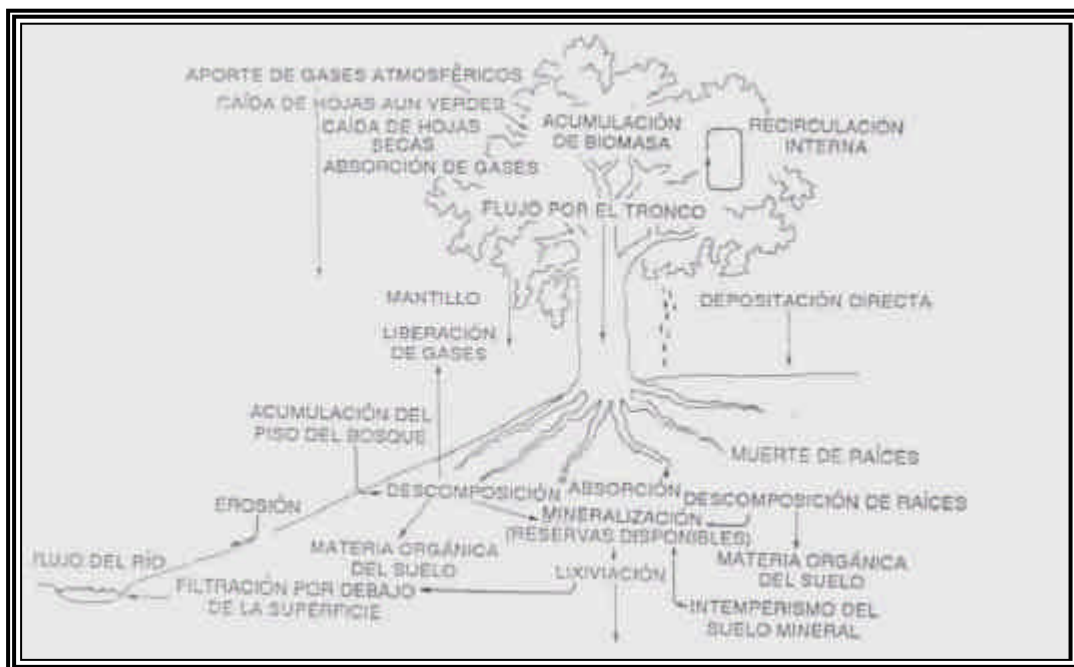
Cuadro 9. Cantidad de nutrientes perdidos por efectos de la erosión y aportados por el incendio.

Contenido de nutrientes del suelo erodado	Nutrientes perdidos por efecto de erosión ($\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$).	**Nutrientes liberados por la quema, según análisis de suelo	Nutrientes liberados por la quema ($\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$).
6.8% M.O*.	10.81	2.285 M.O.	46 500
0.26% N.	0.409	0.06%N	1200
18 ppm P.	0.003	9 ppm P	18
296 ppm K.	0.47	64 ppm K	128
3240 ppm Ca	0.510	400 ppm Ca	800
430 ppm Mg.	0.68	50 ppm Mg	100

* M.O.: Materia Orgánica.

** En base a análisis de suelo en anexo 5.

A largo plazo existe una pérdida de nutrientes la cual es irremplazable tanto por el ritmo de liberación de los nutrientes en el suelo por parte del material parental, como por el ciclo de reciclaje de los mismos (Figura 7.). Esta cantidad implica una pérdida absoluta y acumulativa a través del tiempo, que a su vez significa una pérdida de la cantidad de suelo, de su productividad y su salud.



Fuente: Binkley, 1993

Figura 7. Ciclo de los nutrientes en un bosque.

La pérdida neta de nutrientes por erosión, es menor que la liberación de estos por acción del incendio (Cuadro 9); este libera de forma rápida los minerales atrapados en el tejido vegetal, los cuales de seguir el ciclo normal tardarían muchos años en liberarse y ponerse disponibles por la acción de microorganismos. Sin embargo esta pérdida es irreversible y representa una cantidad de nutrientes que salen del ciclo de reciclamiento y por ende repercuten en la producción de biomasa, es decir en un que el ecosistema se tornaría en un bosque menos vigoroso.

La liberación y por ende el aumento en la biodisponibilidad de los nutrientes después del incendio, tienen efectos a corto plazo, es decir, se beneficiarán de esto las especies (herbáceas y arbustivas) que en se regeneren, mas no las especies perennes (árboles) en el bosque. Esto traerá consigo un efecto detrimental, puesto que estos nutrientes estarán propensos a perderse por acción de las lluvias (o por tasas de erosión elevadas), de manera acelerada, lo cual no permitirá que estos que sean absorbidos por este tipo de especies.

Más de la mitad de los nutrientes de un bosque que son absorbidos anualmente, por lo común se reincorporan a su mantillo (cobertura de material en descomposición) o suelo, y su reciclaje posterior constituye el contenido total de nutrientes aprovechables (Binkley, 1993); el alterar este reservorio de nutrientes, y/o su ciclo de reciclaje, ya sea por incendios o erosión, resultarán en una baja de la asimilación de nutrientes por parte del bosque y por ende un detrimento en la cantidad de biomasa que puede llegar a generar.

El humus en el suelo tiende a acumular nitrógeno durante varios años, antes de que se recicle; su biodisponibilidad se ve afectada por la proporción que guarda este con el carbono en el suelo, puesto que un abundante suministro de carbono (fuente energética) provoca que los microorganismos descomponedores requieran grandes concentraciones de nitrógeno (Binkley, 1993).

Numerosos estudios señalan que existe una mayor lixiviación de nutrientes, después de haber ocurrido una perturbación como cosecha de rodales o incendios de gran magnitud; las pérdidas en biomasa o en la volatilización de los nutrientes hacia la atmósfera exceden en gran medida a cualquier pérdida por lixiviación; un mineral que es fácilmente lixiviado si no es absorbido es el potasio (Binkley, 1993).

Los compuestos de fósforo muestran una gran movilidad, y una cantidad sustancial de este en las hojas es reabsorbida antes de que ocurra la abscisión; dada la gran demanda y baja disponibilidad de este elemento en los bosques, las pérdidas son comúnmente mínimas (Binkley, 1993).

4.5.2 Valoración

Dado que existen varias fuentes de fertilizantes, se plantearon dos escenarios (Cuadro 10), para la valoración económica por medio del costo de reemplazo, la primera consistió en reemplazar los nutrientes con fuentes caras y el otro en reemplazar los nutrientes con

fuentes baratas (las más comunes que se usarían); resultado de esto se pudo estimar que el valor económico de la pérdida de nutrientes por erosión luego de incendios forestales es de al menos 10 y 8.74 Lps ha⁻¹ respectivamente.

Cuadro 10. Valoración económica de nutrientes perdidos por efecto de la erosión en sitios incendiados, dos escenarios.

Escenario: Fuentes caras.	Precio Lps/qq.	Precio Lps/kg	% Nutriente	kg/ha año elemento.	Kg/ha fuente a usar	Co. reem_plazo
Materia Orgánica (humus de vacuno)	10.60	0.233	M:O: 85%	10.818	12.726	2.97
Urea	137	3.014	N 46%	0.409	0.890	2.68
Fosfato Mono Amonico	587	12.914	P 23%	0.003	0.012	0.16
Nitrato de potasio	511	11.242	K 36%	0.047	0.129	1.46
Cal agrícola	60	1.32	Ca 40%	0.510	1.275	1.68
Sul-po-mag	156	3.432	Mg 22%	0.068	0.308	1.06
Co remplazo Lps						10.00
Co remplazo U.S. \$ (16.7 Lps /U.S. \$)						0.60
Escenario: Fuentes baratas.	Precio Lps/qq.	Precio Lps/kg	% Nutriente	kg/ha año elemento.	Kg/ha fuente a usar	Co reem_plazo
Materia Orgánica (humus de vacuno)	10.60	0.233	M.O. 85%	10.818	12.726	2.97
Nitrato de amonio	119	2.618	N 33%	0.409	1.241	3.25
Roca Fosfórica (0-46-0)	154	3.388	P 22%	0.003	0.013	0.04
Muriato de potásio (KCl)	175	3.85	K 60%	0.047	0.078	0.30
Cal Dolomítica	34.54	0.75988	Ca 22%	0.510	2.351	1.79
Cal Dolomítica	34.54	0.75988	Mg 13%	0.068	0.521	0.40
Co remplazo Lps						8.74
Co remplazo U.S. \$ (16.7 Lps /U.S.\$)						0.52
Promedio de dos esenarios Lps/ha						9.37

La cantidad pequeña de nutrientes perdidos da un bajo costo de reemplazo por hectárea; sin embargo, de poder extrapolar esto a las dimensiones correspondientes de los incendios ocurridos desde 1996 a la fecha, tendríamos que el valor actual de lo que potencialmente Honduras ha perdido es al menos Lps. 3,005,019 (U.S. \$ 192,947 a 16.7 Lps/U.S.\$) por

efecto de la erosión luego de incendios forestales, utilizando como costo de reemplazo de nutrientes las fórmulas o fuentes baratas y comunes (Cuadro 11).

Cuadro 11. Valoración económica mediante costo de reemplazo de las pérdidas por erosión en sitios afectados por incendios forestales en Honduras (1996-Octubre 2002).

Año	No. de incendios	Hectáreas quemadas	Valor Lps fuente barata.	Valor Lps fuente cara.	Valor promedio
1996	1,148	4,7921	418,881	479,434	449,157
1997	1,941	183,638	1,605,193	1,837,238	1,721,215
1998	2,260	96,623	844,589	966,681	905,635
1999	1,820	54,986	480,637	550,117	515,377
2000*	2,336*	82,356*	719,876	823,941	771,908
2001*	1,613*	41,245*	360,525	412,642	386,583
2002*	2,152**	63,442**	554,554	634,719	594,636
TOTAL	13,270	57,0211	4,984,254	5,704,771	5,344,512
† V.A.N.			3,005,019	3,493,420	3,222,219

**Incendios ocurridos hasta Octubre del 2002. *Fuente: Ing. Luis Sosa, COHDEFOR.

† Valores netos actualizados a la tasa pasiva promedio del sistema financiero hondureño (12.71%) a octubre del 2002.

Debido a la porosidad del material de las bolsas para recolectar el sedimento, esta no atrapa todos los coloides orgánicos ni arcillas los cuales tiene nutrientes en sus sitios de intercambio, por lo que las cantidades de materia orgánica y minerales determinadas en el estudio podrían ser sustancialmente mayores. Este error es inherente al material de las bolsas por lo que afecta a ambos tratamientos por igual, y no afectará el análisis estadístico pero si la valoración económica la cual podría ser mayor.

Como se mencionó anteriormente, este tipo de valoraciones económicas un acercamiento parcial teórico-práctico a lo que potencialmente se puede perder en términos monetarios; mas sin embargo, existen valores asociados a estos eventos que son hasta cierto punto “incuantificables”, como la perdida de la profundidad del suelo, y el suelo en si, el cual tomo siglos en formarse, y luego de estos eventos queda vulnerable a perderse fácilmente por efecto de la eliminación de su cobertura o del matillo de materia organiza sobre la superficie.

5. CONCLUSIONES

1. El valor económico de la pérdida de nutrientes por acción de la erosión luego de quemado el bosque tomando en cuenta el costo de reemplazo de los nutrientes, es en términos de lempiras por hectárea bajo, (8.74 Lps / ha, con las fuentes de fertilizantes mas comunes y baratas), pero se magnifica si se toma en cuenta las estadísticas nacionales de incendios forestales (al menos U.S.\$ 179,941 desde 1996 hasta octubre del 2002, aproximadamente).
2. Las tasas de erosión en las áreas donde se realizó el estudio son bajas, sin embargo la proporción en que aumenta la misma solo con el hecho de quemar es alta (por cada unidad de suelo erodado en el área no quemado se erosionan 66.5 en el quemado). El hecho no quemar, en términos proporcionales, reduce en gran magnitud las pérdidas por erosión.
3. La naturaleza del tipo de incendio en este estudio fue rápida, y producto de la combustión del poco material acumulado en el suelo, lo cual no causó suficientes temperaturas para volatilizar toda la materia orgánica ni nitrógeno acumulado en la superficie del suelo.
4. El material erodado es relativamente más arenoso que el encontrado en la superficie del suelo, y posee similares características en el contenido de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio.
5. Las tasas de erosión reportadas en el estudio son un parámetro, de cuanto se estima como mínimo se pudiese llegar a perder por erosión luego de un incendio forestal, por lo tanto mediciones futuras, pudrían arrojar valores mucho mayores, lo cual magnificaría aun las pérdidas por este tipo de problemas y aumentaría a la conciencia que se pretende crear con este tipo de investigaciones.
6. La cantidad de nutrientes que se estima en este estudio aportó la quema fue mayor que la perdida por efecto neto de la erosión, sin embargo ésta se magnifica a través del tiempo, el área a nivel nacional que es afectada por incendios forestales, la severidad del incendio y por el hecho que ésta es neta e irre recuperable y los nutrientes no regresan a su ciclo, provocando un decremento en la capacidad de producción de biomasa del bosque a largo plazo.

6. RECOMENDACIONES

1. Tomar el presente estudio como base para la justificación de planes de manejo de cuencas, proyectos de capacitación contra incendio, concientización de la población rural, estudios posteriores y planes de pagos por servicios ambientales; pudiendo también ser tomado en cuenta para poder considerar el hecho de invertir en un plan nacional de manejo y prevención contra incendios al comparar ligeramente cuanto se está perdiendo en el aspecto mencionado en el estudio, con respecto a invertir en un plan de prevención contra incendios.
2. El simple hecho de no quemar los bosques y mantenerlos con su vegetación natural, reduce a tasas casi nulas la erosión, en las condiciones de precipitación que se presentan normalmente en la zona. Los resultados del presente estudio se suman a la lista de las razones por las cuales no se debe quemar el bosque, y así evitar contaminación en las fuentes de aguas por sedimentos acarreados por efecto de la erosión, en las cuencas abastecedoras de agua para las urbes más cercanas.
3. Los resultados del presente estudio se pueden sumar a los de posteriores o futuras valoraciones, no sin antes considerar las características de los sitios donde se hagan, para poder, con la adecuada recolección de información, adaptarse a la medición de una forma global de los impactos de incendios forestales, creando así una conciencia mas atinada de la magnitud del problema.
4. Se recomienda realizar estudios más precisos en los cuales existan las siguientes condiciones:
 - a) Parcelas de sedimentación correctamente aisladas y delimitadas para poder tener medidas más precisas de la cantidad tanto de escorrentía como de erosión que se pudiese generar.
 - b) Usar más réplicas en este tipo de experimentos puesto que por razones de vandalismo, pastoreo de animales u otras, se pueden perder datos lo cual limita la precisión del estudio.
 - c) Realizar el experimento en parcelas con otras pendientes para poder cuantificar su efecto y realizar extrapolaciones más precisas en estudios posteriores.
 - d) Estudios a nivel de microdrenajes que puedan cuantificar la cantidad de sedimento exportado de manera mas precisa.

7. BIBLIOGRAFÍA

Ayres, Q.C. 1960. La erosión del suelo y su control. Barcelona. España. Ediciones Omega 347 p.

Barbour M; Burk J; y Pitts W. 1980. Terrestrial Plant Ecology, California, Estados Unidos, The Benjamin/Cummings Publishing Company, p. 368-376.

Bardfield B.J; Haan C.T y Warner R.C. 1983. Applied Hydrology and Sedimentology for Disturbed Areas. Oklahoma, Estados Unidos, Oklahoma Technical Press, p 334.

Binkley D. 1993. Nutrición forestal, prácticas de manejo. México D.F.; México, Limusa, 335 p.

Catari G. 2001. Plan de Manejo para la Microcuenca de la quebrada hierbabuena, municipios de Maraita y Tatumbla, Honduras. Tesis Ing. Agrónomo El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 40 p.

Clark R. 1996. Methodologies for the economic analysis of soil erosion and conservation. Reino Unido 70 p.

Echeverría J. 1991. La Depreciación de los Recursos Naturales en Costa Rica y su relación con el Sistema de Cuentas Nacionales: Implicaciones económicas de la erosión en Costa Rica. Centro Científico Tropical y Instituto de Recursos Mundiales (World Resources Institute). p 230-234.

Figueroa Sojet, J. 1999. Monitoreo de incendios forestales y respuesta de las comunidades en el área de acción del proyecto "PROCUENCAS". Tesis Ing. Agrónomo El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 39 p.

FAO. 1997. Medición sobre el terreno de la erosión del suelo. Roma, 167 p.

FAO. 1993. Erosión de suelos en América Latina. Roma. 89 p.

FAO, 1985. Datos agroclimáticos de América Latina y el Caribe, Roma, p 240

González Cabán A. 2000. Aspectos económicos del daño producido por incendios forestales. *In Vélez Muñoz, R. Cord. La defensa contra los incendios forestales: fundamentos y experiencias.* Madrid, España, McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S. A. U. P 5.1-5.3. Hsieh, Y.P. 1992. A mesh-bag method for surface soil erosion measurement in croplands, *Journal of Soil and Water Conservation.* 47: p.495-499.

Hsieh Y. P. 1992. A mesh-bag method for field assesment of soil erosion. *Journal of Soil and Water.* 47(6). p. 495-499.

Kirkby, M.J. y Morgan R.P.C. 1984. *Erosión de suelos.* México D.F., México. 1 ed. Limusa, S.A. 368 p.

Lal R. 1999. *Soil quality and soil erosion.* Florida U.S.A. Soil and Water Conservation Society. 319 p.

Lazo Bayas J. 2001. Bases para la evaluación de impacto de los incendios forestales: Caso Cooperativa Guadalupe LTDA., Yuscarán, Honduras, C. A. Tesis Ing. Agrónomo El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 40p.

Mikhailova E. A. 1995. Predictin rainfall erosivity in Honduras. Thesis Master of science, Cornell University, 109p.

Morgan R. 1996. *Erosión y conservación de suelo.* Trad. Terrón U.; López de Meneses U. Madrid, España, Ediciones Mundi-Prensa. 339 p.

Rubio J. L.; Andrew V.; Gimeno E. y Cerni R. 2001. Impact of forest fires on water erosion in a Mediterranean environment. *Soil erosion research for the 21 century, Proc Int. Symposium (3-5 enero del 2001), Honolulu. Hawai, Estados Unidos.* 5 p.

Ruiz del Castillo J. 2000. Efectos del fuego en los ecosistemas forestales. *In Vélez Muñoz, R. Cord. La defensa contra los incendios forestales: fundamentos y experiencias.* Madrid, España, McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S. A. U. p 4.1-4.7.

Sánchez P. 1981. *Suelos del trópico, características y manejo,* Trad. E. Camacho, 1 ed. San José, Costa Rica: IICA, 1981. 660 p.

Servicio de Conservación de Recursos Naturales de los Estados Unidos-NRCS. 1981. *Soil Survey Manual,* Estados Unidos, p 4.

Summer M. E. 2000. *Hand Book of Soil Scinece.* Estados Unidos, CRC Press, p G-186.

Tragsa. 1994. *Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión,* Barcelona, España, Mundiprensa, 920 p.

Vélez Muñoz R. 2000. Perspectiva Global: El fuego en los ecosistemas forestales del mundo. *In* Vélez Muñoz R. Cord. La defensa contra los incendios forestales: fundamentos y experiencias. Madrid, España, McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S. A. U. p 2.1-2.8.

8. ANEXOS

Anexo 1. Caracterización de las parcelas usadas en el estudio.

Parcela quemada.- 10 pinos maduros de 15 a 25 m de altura con un DAP de hasta 35 cm, 50 robles por lo menos, poca regeneración de pino (*Pinus spp.*), domina la presencia de roble (*Quercus segoviensis.*).

El zotobosque se este regenerando y esta compuesto de especies perennes como *Oxalis latifoliata* y *Pinus Oocarapa*. Y se nota también la presencia de algunas *Psidium guajava*, ocasionalmente y gramíneas. La cobertura de la tierra esta compuesta por hojas y es del 40 al 50%.

Parcela no quemada.- Se encontró igual densidad de *Pinus oocarpa* y *Quercus segoviensis.*; el Zotobosque es igual en composición florística , es más alto y esta compuesto por especies que estaba ahí desde el año pasado. El suelo esta casi 100% cubierto por hojas ramas y regeneración. Se observó la presencia de helechos que no se encontraron en la otra parcela, y el sotobosque estaba compuesto por vegetación más delicada. No se dio la presencia de *Oxalis latifoliata*.

Anexo 2. Descripción de las calicatas 1 y 2 realizadas en el estudio.

*Nota: Las características del sitio y la clasificación taxonómica del suelo son las mismas que para la calicata No. 3.

***CALICATA 1: Parcela Quemada.**

Horizonte	cm	Descripción
A	0-5 cm.	Gris rojizo oscuro (2.5 YR 3/1); franco arcillo arenoso; estructura granular moderada, consistencia firme, raíces finas y medias comunes y gruesas pocas, límite gradual plano.
BA	5-23 cm.	Café rojizo oscuro (5YR 3/4), franco arcilloso tendencia a arcillo limoso;; bloques subangulares medios gruesos y débiles, consistencia firme, raíces medias y gruesas comunes, límite gradual y plano.
Bt	23 cm +.	Café rojizo oscuro (5YR 4/3Arcillo limoso +); bloques subangulares gruesos que parten a bloques finos y medios débiles con tendencia a masividad, estructura masiva, consistencia muy firme, raíces finas y medias pocas y gruesas ocasionales.

***CALICATA 2: Parcela no quemada.**

Horizonte	cm	Descripción
A	0-9 cm.	Café rojizo oscuro (5 YR 3/2); Franco arcillo arenoso; granular ++, moderado, friable, raíces finas y medias abundantes, y gruesas comunes, límite gradual y plano.
BA	9-40 cm.	Café rojizo (5 YR 4/4); Arcillo limoso bloques subangulares medios y pequeños débiles, que parten a granular medios y finos, moderado firme, raíces medias comunes y gruesas pocas, limite gradual y plano.
Bt	40 cm +.	Café rojizo (5 YR 4/4); Arcillo limoso, bloques subangulares muy gruesos, y débiles gruesos, que parten a bloques subangulares medios y pequeños, raíces gruesas y medias pocas.

Anexo 3. Detalle de recolección de sedimentos en las bolsas.

PRMERA RECOLECCIÓN DE DATOS

Fecha		Secado:	
26/07/02		48 h a 70° C	
Tratamiento	Peso suelo(g)	Tratamiento	Peso suelo(g)
QB-1-6	10.21	NQB-1-6	0.37
QB-2-6	32.43	NQB-2-6	0.3
QB-3-6	18.19	NQB-3-6	0.29
QA-1-6	*	NQA-1-6	0.21
QA-2-6	*	NQA-2-6	0.15
QA-3-6	20.61	NQA-3-6	0.19
TOTAL	81.44		1.51

* datos perdidos

SEGUNDA RECOLECCIÓN DE DATOS

Fecha		Secado:	
21/08/02		48 h a 70° C	
Tratamiento	Peso suelo(g)	Tratamiento	Peso suelo(g)
QB-1-10	*	NQB-1-10	0
QB-2-10	17.3	NQB-2-10	0.2
QB-3-10	3.1	NQB-3-10	0.1
QA-1-10	5.9	NQA-1-10	0.7
QA-2-10	22.1	NQA-2-10	0.1
QA-3-10	35.3	NQA-3-10	0.4
TOTAL	83.7		1.5

TERCERA RECOLECCIÓN DE DATOS

Fecha		Secado:	
18/09/02		48 h a 70° C	
Tratamiento	Peso suelo(g)	Tratamiento	Peso suelo(g)
QB-1-14	7.5	NQB-1-14	0.1
QB-2-14	10.5	NQB-2-14	0.3
QB-3-14	5.3	NQB-3-14	0.2
QA-1-14	12.9	NQA-1-14	0.6
QA-2-14	14.4	NQA-2-14	0.8
QA-3-14	21	NQA-3-14	0.1
TOTAL	71.6		2.1

CUARTA RECOLECCIÓN DE DATOS

Fecha		Secado:	
16/10/02		48 h a 70° C	
Tratamiento	Peso suelo(g)	Tratamiento	Peso suelo(g)
QB-1-18	2	NQB-1-18	0
QB-2-18	*	NQB-2-18	0
QB-3-18	1	NQB-3-18	0
QA-1-18	7.8	NQA-1-18	0.7
QA-2-18	41.9	NQA-2-18	0.4
QA-3-18	29.9	NQA-3-18**	17.9
TOTAL	82.6		1.1**

* datos perdidos

** NO tomado en cuenta para totales ni cálculos estadísticos

Anexo 4. Detalle de la precipitación ocurrida durante el estudio (30/05/02-18/09/02).

MAYO		JUNIO			
Fecha	Lluvia(mm)	Fecha	Lluvia(mm)	Duración	Intensidad (mm/h)
30/05/02	19.6	01/06/02	9.6	*	*
31/05/02	4.4	02/06/02	0.8	*	*
		03/06/02	39	*	*
		04/06/02	4.2	*	*
		05/06/02	11.8	*	*
		06/06/02	3.6	*	*
		07/06/02	22.8	*	*
		08/06/02	14.4	*	*
:		09/06/02	53.4	*	*
		10/06/02	42.8	*	*
		11/06/02	0	0	0
		12/06/02	0	0	0
		13/06/02	1.8	*	*
		14/06/02	4.2	2:00:30	2.100
		15/06/02	0	0:00:00	0.000
		16/06/02	0	0:00:00	0.000
		17/06/02	0	0:00:00	0.000
		18/06/02	23.4	7:01:42	3.343
		19/06/02	8.2	2:56:15	2.795
		20/06/02	3.4	5:35:12	0.609
		21/06/02	0	0:00:00	0.000
:		22/06/02	0	0:00:00	0.000
		23/06/02	9.4	0:24:45	23.500
		24/06/02	5	8:29:58	0.588
		25/06/02	5.6	1:24:38	4.000
		26/06/02	2	1:53:18	1.062
		27/06/02	3	4:22:32	0.687
		28/06/02	0	0:00:00	0.000
		29/06/02	4	2:00:46	2.000
		30/06/02	0	0:00:00	0.000
Total	24		272.4		
		Fecha de inicio del estudio		*	Dato perdido
		Fecha de recolección de datos		**	Dato despreciable

JULIO				AGOSTO			
Fecha	Lluvia(mm)	Duración	Intensidad (mm/h)	Fecha	Lluvia(mm)	Duración	Intensidad (mm/h)
01/07/02	0	0:00:00	0.00	01/08/02	0	0:00:00	0
02/07/02	3.6	1:56:24	1.86	02/08/02	0	0:00:00	0
03/07/02	1	*	**	03/08/02	0	0:00:00	0
04/07/02	2.2	0:16:21	8.25	04/08/02	0	0:00:00	0
05/07/02	4	0:11:00	21.82	05/08/02	0	0:00:00	0
06/07/02	0	0:00:00	0.00	06/08/02	0	0:00:00	0
07/07/02	0	0:00:00	0.00	07/08/02	0	0:00:00	0
08/07/02	0	0:00:00	0.00	08/08/02	0	0:00:00	0
09/07/02	0	0:00:00	0.00	09/08/02	0	0:00:00	0
10/07/02	0	0:00:00	0.00	10/08/02	0	0:00:00	0
11/07/02	0	0:28:08	0.00	11/08/02	0	0:00:00	0
12/07/02	6.6	0:29:36	13.66	12/08/02	0	0:00:00	0
13/07/02	7	0:25:54	16.80	13/08/02	0	0:00:00	0
14/07/02	0	0:00:00	0.00	14/08/02	0	0:00:00	0
15/07/02	1	0:02:30	30.00	15/08/02	0	0:00:00	0
16/07/02	9.8	3:03:53	3.21	16/08/02	0	0:00:00	0
17/07/02	6.4	3:54:06	1.64	17/08/02	19.4	2:41:22	7.2
18/07/02	4	0:00:00	**	18/08/02	0	0:00:00	0
19/07/02	3.2	0:18:30	10.67	19/08/02	0	0:00:00	0
20/07/02	7	2:35:47	2.71	20/08/02	0	0:00:00	0
21/07/02	7	0:51:50	8.24	21/08/02	4.2	0:11:08	22.9
22/07/02	0.4	*	*	22/08/02	3	1:04:17	2.8
23/07/02	11.8	*	*	23/08/02	3	0:24:38	7.5
24/07/02	0.8	1:23:28	0.58	24/08/02	0	0:00:00	0.0
25/07/02	5.8	0:00:00	0.00	25/08/02	2.6	0:00:00	*
26/07/02	24	5:11:09	4.63	26/08/02	6.8	1:00:53	6.8
27/07/02	25	5:19:23	4.70	27/08/02	1.8	0:28:26	3.9
28/07/02	12.2	0:32:27	22.88	28/08/02	0	0:00:00	0.0
29/07/02	0.4	0:12:43	**	29/08/02	0	0:00:00	0.0
30/07/02	0	0:00:00	0.00	30/08/02	2	0:16:15	8.0
31/07/02	0	0:00:00	0.00	31/08/02	0	0:00:00	0.0
	143.2				42.8		

Fecha de inicio del estudio

* Dato perdido

Fecha de recolección de datos

** Dato despreciable

Anexo 5 Análisis de suelo parcela quemada y no quemada a dos profundidades distintas.

ZAMORANO
CARRERA DE CIENCIA Y PRODUCCION AGROPECUARIA
LABORATORIO DE SUELOS
RESULTADO DE ANALISIS
DE SUELOS

Solicitante: GUILLERMO MAURA

Institución: DSEA

Localización Aldea Municipio
de la muestra: TATUMBLA

Departamento: FCO. MORAZAN

Cultivo a sembrar:

Recomendación: Si No X

Solución extractora Mehlich 3: P, K, Ca, Mg, S, Cu,
Fe, Mn, Zn, B

# Lab.	Muestra	Textura	% Arena	% Limo	% Arcilla	pH (H ₂ O)	% M.O.	% N _{total}	ppm (Disponible)						
									P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Zn
481	Suelo quemado (0 - 5)	Franco	42	32	26	6.13	6.94	0.21	16	256	2970	470	0.5	170	3.6
482	Suelo quemado (5 - 20)	Franco Arcillo Arenoso	48	26	26	5.45	3.53	0.1	7	182	2090	390	0.3	175	1.2
483	Suelo normal (0 - 5)	Franco	50	28	22	5.67	4.66	0.15	7	192	2570	420	0.2	149	2.3
484	Suelo normal (5 - 20)	Franco	50	28	22	5.46	2.65	0.08	4	150	2100	360	0.2	165	1.0

Responsable :
Ing. Hilda Flores.

Anexo 6. Análisis de suelo del material erodado.

ZAMORANO
CARRERA DE CIENCIA Y PRODUCCION AGROPECUARIA
LABORATORIO DE SUELOS
RESULTADO DE ANALISIS
DE SUELOS

Solicitante: GUILLERMO MAURA

Institución: E.A.P.- DSEA

Localización Aldea Municipio
 de la muestra: TATUMBLA

Departamento: FCO. MORAZAN

Cultivo a sembrar:

Recomendación: Si No X

Fecha de entrada: 19/10/2002

Fecha de salida: 22/10/2002

Kjendal :N

Solución extractora Mehlich 3: P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn

# Lab.	Muestra	pH (H ₂ O)	% M.O.	% N _{total}	ppm (Disponible)			
					P	K	Ca	Mg
1019	Suelo Erodado en lado quemado	6.27	6.87	0.26	18	296	3240	430

*La textura de el suelo recolectado fue Franco arenosa determinada por medio de tacto.

Responsable: Hilda Flores.

Anexo 7. Cálculos de kg/ha de nutrientes perdidos

	Lado Quemado	Lado No quemado	
Suelo promedio g/ bolsa	105.8	1.59	Perdida de suelo por efecto del incendio (ka/ha año)
Precipitación Tatumbra, 30/05/02 -18/09/02,(mm)	702.00	702	
Precipitación (esperada anual), estación Toncontín (mm)	891	891	
Área de influencia de la bolsa (m ²)	8.4	8.4	
Erosión en Kg/ha	125.95	1.89	
Tasa erosión kg suelo/mm ha	0.179	0.003	
Erosión esperada ka/ha año	159.86	2.40	157.46
Contenido de Nutriente	Analisis de laboratorio	kg/ha elemento	
M.O.%	6.87%	10.818	
N %	0.26%	0.409	
P (ppm)	18	0.003	
K (ppm)	296	0.047	
Ca (ppm)	3240	0.510	
Mg (ppm)	430	0.068	