

**Efectos del fuego en hipsometría del suelo en
bosque de coníferas de la microcuenca Santa Inés,
Honduras**

Eduardo Antonio Marzano Barreda

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2016

ZAMORANO
CARRERA DE AMBIENTE Y DESARROLLO

Efectos del fuego en hipsometría del suelo en bosque de coníferas de la microcuenca Santa Inés, Honduras

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero en Ambiente y Desarrollo en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Eduardo Antonio Marzano Barreda

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2016

Efectos del fuego en hipsometría del suelo en bosque de coníferas de la microcuenca Santa Inés, Honduras

Eduardo Antonio Marzano Barreda

Resumen: Uno de los efectos del fuego en los bosques de coníferas es la erosión hídrica después de su aplicación, en este tipo de bosque hay tres usos del fuego: las quemas prescritas, quemas controladas y los incendios. Para diferenciar la erosión hídrica ocasionada por cada uso del fuego de acuerdo a la pendiente, los tres fueron aplicados en parcelas para los siguientes rangos de pendiente: menor de 30%, de 30 a 60% y mayores a 60%, luego se enterraron varillas de hierro a 20 cm del suelo para observar cambios en la hipsometría traducido como el cambio de la altura de las varillas en referencia a la inicial y utilizando el área de la parcela se estimó el volumen de suelo perdido por erosión, el análisis indicó que de forma general hay diferencias significativas de erosión entre tratamientos y pendientes ($p > 0.05$), y existen similitudes como en el caso de los incendios en pendientes de 30 a 60% y mayores a 60% ($p > 0.05$) y el caso de las quemas controladas y los incendios en pendientes mayores a 60% ($p > 0.05$), el análisis de contraste indicó diferencias significativas entre la aplicación y no aplicación de fuego, incendios contra otros tratamientos y entre quemas prescritas y controladas ($p > 0.05$). Los incendios son el uso del fuego que presenta mayor erosión hídrica, las quemas controladas asemejan su efecto en pendientes crecientes y las quemas prescritas es el tratamiento que tiene el mínimo impacto.

Palabras clave: Erosión hídrica, incendios, quemas controladas, quemas prescritas.

Abstract: One of the effects of fire in coniferous forests is water erosion after application and in this forest there are three uses of fire: prescribed burns, controlled burns and forest fires. To differentiate water erosion caused by each use of fire according to the slope, the three uses were applied in plots for three ranges of slope which were less than 30%, 30 to 60% and greater than 60%, then iron rods were buried at 20 cm from the ground to observe changes in the hypsometry translated as the changing height of the rods in reference to the initial and using the plot area the volume of soil lost by erosion was estimated, analysis indicated that there are significant differences in erosion between treatments and slopes ($p < 0.05$), and there are individual similarities as in the case of fires in slopes of 30 to 60% and greater than 60% ($p > 0.05$) and the case of controlled burns and forest fires on slopes greater than 60% ($p > 0.05$), the contrast analysis indicated significant differences between the application and non-application of fire, fire against other treatments and between prescribed and controlled burns ($p > 0.05$). In conclusion, the forest fires are the use that has greater water erosion, controlled burns resembles its effect on increasing slopes and prescribed burns is the treatment that has minimal impact.

Key words: Controlled burns, forest fires, prescribed burns, water erosion.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos	v
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS	4
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	8
4. CONCLUSIONES.....	14
5. RECOMENDACIONES.....	15
6. LITERATURA CITADA	16

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Especies del dosel inferior y presencia en los tres sitios de estudio en el bosque de coníferas Santa Inés, Honduras.....	5
2. Estimación de volumen de suelo expresado en metros cúbicos para los cuatro tratamientos y los tres rangos de pendiente.	9
3. Prueba de Shapiro-Wilk para determinar normalidad de la distribución.....	10
4. Análisis de varianza de 2 factores con réplica con un alfa de 0.05.....	11
5. Prueba t para detectar diferencias entre incendios en pendientes de 30-60% y mayores de 60%, con un alfa de 0.05.	12
6. Prueba t para detectar diferencias entre quemas controladas e incendios en pendientes mayores a 60%, con un alfa de 0.05.	12
7. Prueba post ANOVA de contraste.	12

Figuras	Página
1. Comportamiento de la capa repelente al agua en tres escenarios. Fuente: DeBano (2000), adaptado por el autor.	2
2. Ubicación de los sitios de estudio por rangos de pendiente en la microcuenca Santa Inés, Honduras.....	4
3. Dimensionamiento del área de medición efectiva de erosión hídrica en la parcela.	7
4. Distribución de individuos por clase diamétrica en los tres sitios de estudio del bosque de coníferas, Santa Inés.	8
5. Precipitación diaria entre el 9 de mayo y 11 de julio del 2016.....	9
6. Diagrama de caja ajustado de los cuatro tratamientos en X y el volumen de suelo erosionado en metros cúbicos en el eje Y.....	10
7. Gráfico de interacción de medias de erosión hídrica en parcelas para los cuatro tratamientos y sus tres rangos de pendientes.	11

1. INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales traen consigo varios tipos de daños que incluyen la pérdida de biodiversidad, la disminución de los bosques, la alteración del paisaje, la degradación del suelo y aumento en emisiones (Balbi, Morandini, Silvani, Filippi, y Rinieri, 2009). Se sabe que en los diferentes biomas la superficie afectada por incendios a nivel mundial en un año es aproximadamente 8.2×10^6 km² que equivaldría a una pérdida de alrededor de seis millardos de toneladas métricas de biomasa a causa del fuego (Vélez, 1999).

De acuerdo a la modelación climática, usada para predecir el tiempo y pronosticar el cambio climático acorde a tendencias actuales (Kim, Sobel, Del Genio y Chen, 2012), se predice que las zonas quemadas a nivel global se duplicarán para el 2040 y aumentarán ocho veces a finales de este siglo (Podur y Wotton, 2010). Esto es debido al crecimiento de grandes incendios y las condiciones climáticas de sequía proyectadas para las zonas tropicales.

En Honduras las condiciones climáticas son favorables para el desarrollo de tres tipos de bosque: coníferas, latifoliado y de mangle (Padilla, 2012). Honduras cuenta con el 87% de su superficie con vocación forestal (Salazar, 2011) y los incendios forestales han alcanzado niveles críticos en los últimos años. También se sabe que un 98% de los mismos son de origen antropogénico (Instituto de Conservación Forestal [ICF], 2015). Sin embargo, no se sabe mucho de los efectos de los incendios en el bosque de una microcuena. También se desconoce los efectos de las quemas prescritas a pesar de ser el uso más común en la reducción del material combustible utilizado durante épocas secas (Espinoza y Rodríguez, 2008).

Los usos del fuego en un bosque son tres en concreto. Uno de ellos es, la quema prescrita, es el tratamiento tecnificado más convencional existente consiste en aplicación de fuego en un área evaluada con condiciones de clima y tiempo conocidas. Esta tiene como objetivo reducir el combustible seco, promover el crecimiento de árboles y plantas dependientes del fuego y reducir el riesgo de sufrir incendios no deseados (Solorio y Garnica, 2012). Las quemas controladas son un instrumento no tan tecnificado que se utiliza para la reducción de vegetación competidora y la carga combustible para controlar los incendios forestales. Este consiste en rondas de poco grosor a los alrededores del área de interés y aplicar fuego hasta que se consuma por sí solo al llegar a las rondas (Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo [USAID], 1999). Los incendios forestales pueden ser producto de un mal manejo y constituyen una de las principales amenazas a los bosques por la intensidad y la dispersión espontánea de estos eventos (Aragoneses y Rábade, 2004).

Estos usos del fuego afectan propiedades del suelo dependiendo de su severidad y tipo de suelo, una de las propiedades más afectada es la estabilidad agregada que se refiere a la resiliencia en respuesta a fuerzas externas. Esto también tiene implicaciones en el funcionamiento del sistema del suelo, su morfología y eventualmente en la hidrología del área afectada (Mataix Solera, Cerdà y Arcenequi, 2011).

Un efecto post incendio es la repelencia al agua que se manifiesta con una capa de espesor variable ubicado a diferentes profundidades del suelo dependiendo la intensidad de un incendio (Figura 1). Esta capa es responsable del efecto “techo de hojalata” que protege la parte inferior del suelo impermeabilizándola y exponiendo la parte superior quemada a un proceso de erosión acelerada ocasionado por la precipitación (DeBano, 2000).

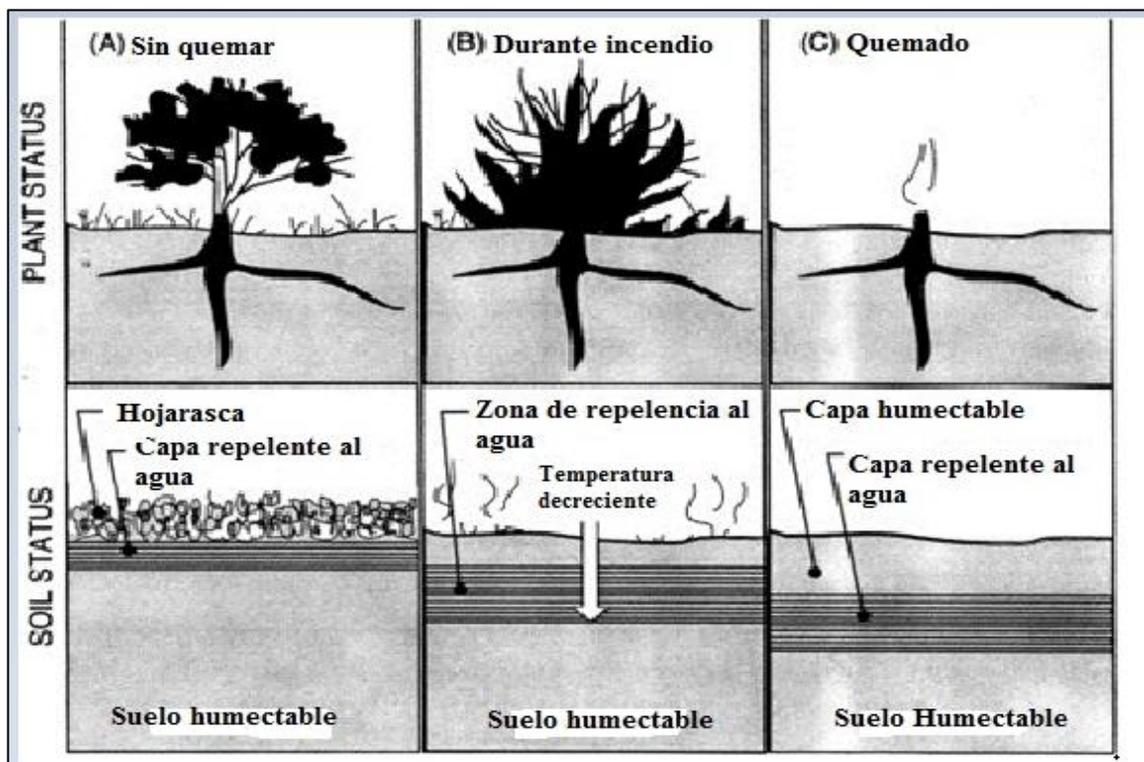


Figura 1. Comportamiento de la capa repelente al agua en tres escenarios.

Fuente: DeBano (2000), adaptado por el autor.

Estos usos del fuego dejan al suelo descubierto y expuesto a erosión hídrica afectando la hipsometría superficial de las cuencas hidrográficas. Esta hipsometría o altimetría es una rama de la topografía que estudia la medición de alturas en zonas empinadas y es utilizado en análisis de cuencas hidrográficas para representar el relieve de un sitio a diferentes escalas (Martinez y Díaz, 2010). Este estudio se enfocó en determinar a través de la hipsometría la cantidad de suelo y sedimentos que se pierden por erosión hídrica.

El objetivo general del estudio fue determinar la erosión hídrica de acuerdo a los usos del suelo y factores como pendiente y precipitación, como objetivos específicos (i) Comparar la erosión hídrica entre los usos del suelo en relación a los rangos de pendientes, (ii) identificar el uso que tiene mayor efecto en la erosión hídrica.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y descripción del área de estudio. Se eligió como área de estudio el bosque de coníferas de la microcuenca Santa Inés, ubicada entre los departamentos de Francisco Morazán y El Paraíso, Honduras. Esta microcuenca tiene elevaciones que van desde los 755 hasta los 1,765 m.s.n.m., temperatura media anual de 23 °C, precipitación media anual de 1,100 mm y una pendiente promedio del 10% (Huezo, 2011).

Los sitios de estudio específicamente se encuentran por la comunidad Los Lirios en la ruta hacia El Guayabo. Se escogió esta zona por los rangos de pendiente presentes en la misma (Figura 2), también de acuerdo al mapa de usos y coberturas más reciente el área está ubicada en zonas de Pino Denso (PD) que compone el 59.5% de la cobertura total de la microcuenca (Cabascango, 2015).

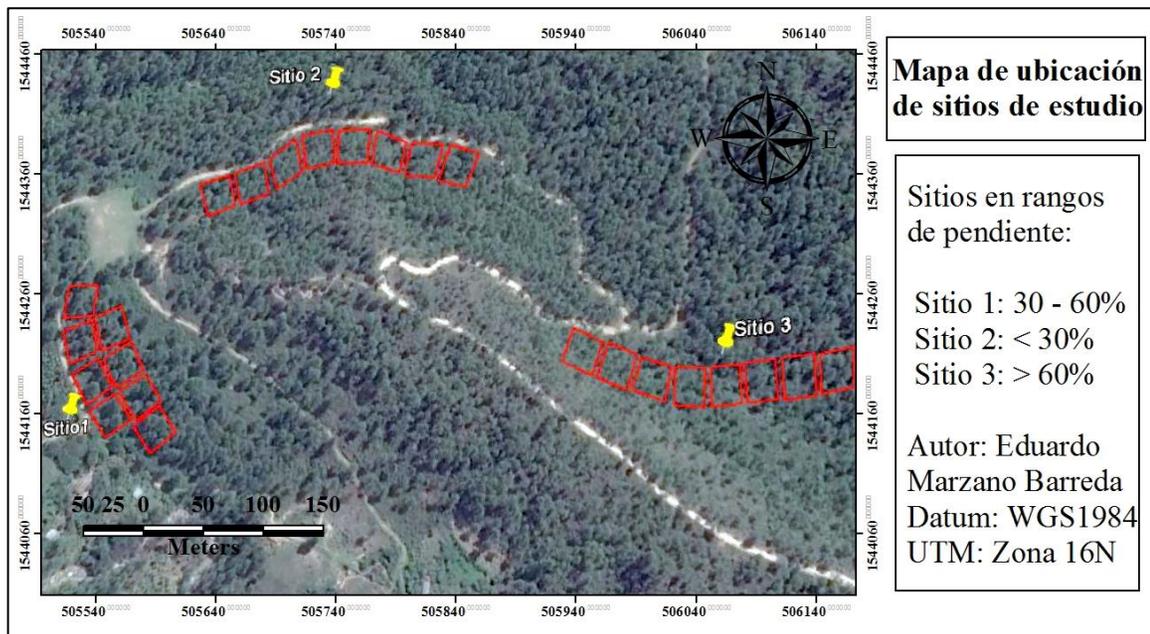


Figura 2. Ubicación de los sitios de estudio por rangos de pendiente en la microcuenca Santa Inés, Honduras.

Características del bosque y descripción del dosel inferior. La especie de pino en los tres sitios es *Pinus occarpa* y su distribución está compuesta por el estrato P1 (bosque de pino medio) con árboles de altura, diámetro y densidades similares. El dosel inferior presentó densidades similares en los tres sitios. Las especies de plantas en el dosel inferior

fueron identificadas con la ayuda de un lugareño conocedor del nombre común de las plantas en la zona y fotografías, luego de ello se identificó el nombre científico correspondiente (Cuadro 1).

Estos datos se tomaron antes de aplicar cualquier tratamiento en las parcelas de cada sitio y al momento de tomar estos datos se tuvo especial cuidado para no dañar el dosel inferior ya que esta misma biomasa protege al suelo que se sometería a un tratamiento con fuego posteriormente.

Cuadro 1. Especies del dosel inferior y presencia en los tres sitios de estudio en el bosque de coníferas Santa Inés, Honduras

Nombre común	Nombre científico	Presencia en sitios: 1,2,3
Guarumo	<i>Cecropia</i> sp.	1,2,3
Zarza	<i>Rubus ulmifolius</i>	1,2,3
Coyolillo	<i>Cyperus rotundus</i>	1,2,3
Encinillo	<i>Quercus berberidifolia</i>	1,2,3
Helecho	<i>Pteridium aquilinum</i>	1,2,3
Guayaba agría	<i>Psidium guajava</i>	1,2,3
Nance	<i>Byrsonima Crassifolia</i>	1,2,3
Cocinera	<i>Ixora coccinea</i>	1,2,3
San Juanillo	<i>Setaria sphacelata</i>	1,2,3
Zacate Guinea	<i>Panicum maximum</i>	1,2,3
Tarasca	<i>Antirrhinum majus</i>	1,2,3
Botón de seda	<i>Emilia fosbergii</i>	1,2,3
Quebradillo	<i>Acanthosyris spinescens</i>	1,2,3
Flor azul	<i>Centaurea cyanus</i>	1,2,3
Maguey	<i>Agave</i> sp.	1,2
Tatascán	<i>Perymenium grande</i>	1,2
Palma Suyate	<i>Raphia taedigera</i>	3
Encino	<i>Quercus corrugate</i>	3

Descripción del suelo. Los suelos de los sitios de estudio son inceptisoles ácidos (Andic Dystrustepts), tienen textura gruesa (Franco arenoso), son muy permeables con una conductividad hidráulica mayor a 250 mm/hora, poco profundos y con alto contenido de materia orgánica (Acosta y Kucharsky, 2012).

Estimación de cobertura forestal. Se estimó la cobertura forestal de *Pinus occarpa* en los tres sitios para verificar que tengan la misma exposición a la precipitación después de los tratamientos con fuego. Se muestrearon dos parcelas circulares de 500 m² en cada sitio de forma aleatoria. Los parámetros medidos fueron el diámetro a la altura del pecho (DAP) con la ayuda de una cinta diamétrica y forcípula, la altura de los árboles dominantes, co-dominantes e intermedios con la ayuda de un clinómetro y un hipsómetro.

Registro de la precipitación. Se utilizó un pluviómetro de balancín HOBO modelo RG3-M-ONSET® instalado en la comunidad de Los Lirios a 455 m al oeste del sitio uno. Las lecturas del pluviómetro fueron registradas de forma semanal con el programa HOBOWARE® para determinar a cuanta precipitación estaban expuestas las parcelas.

Dimensionamiento y montaje de las parcelas. En la primera etapa del experimento se definió el número de parcelas para el experimento. Estas fueron 24 parcelas divididas entre los 3 sitios, los sitios tuvieron los siguientes rangos de pendiente: sitio uno de 0 a 30%, sitio dos de 30 a 60% y sitio tres mayor 60%. Cada parcela tuvo un dimensionamiento de 30×30 m, el tratamiento se aplicó en los 900 m^2 , pero se decidió utilizar 400 m^2 como área de medición efectiva, con un dimensionamiento de 20×20 m para considerar el efecto de borde experimental

Se decidió hacer una réplica, por lo que cada sitio contenía dos parcelas de cada tratamiento. En cada una de estas parcelas se realizó uno de los cuatro tratamientos con las siguientes especificaciones:

1. Tratamiento “QP” quemas prescritas: Fue ejecutado con la ayuda de los ingenieros forestales y mano de obra de la Unidad Forestal Zamorano en el cual se prepararon rondas de 3 a 4 m hacia afuera de la parcela. Primero se describió la biomasa y cobertura forestal antes y después del evento, luego se hizo la ignición con una antorcha de goteo en contra de la pendiente y la dirección del viento y finalmente se liquidó al momento que el fuego llegó al área de las rondas eliminando los remanentes que ardían dentro de la parcela con bombas de agua.
2. Tratamiento “QC” quemas controladas: Para esto se prepararon simples rondas de 2 a 3 m alrededor de la parcela y se encendió con una antorcha de goteo en favor de la pendiente y sin tomar en cuenta la dirección del viento luego se liquidó el fuego cuando llegó al área de las rondas.
3. Tratamiento “I” incendio: se prepararon rondas simples de 2 a 3 m alrededor de la parcela y se encendió con una antorcha goteo abriendo líneas de fuego aleatoriamente en la parcela para simular un incendio, para la liquidación del incendio se inició un contrafuego en el borde superior de parcela con la antorcha de goteo y se dejó los remanentes arder hasta que se extinguieran solos.
4. Tratamiento “Control” sin intervención: en esta parcela solo se montaron las varillas sin disturbar la cobertura de dosel inferior y no se le aplicó tratamiento alguno.

Luego para medir los cambios en las alturas de relieve o hipsometría superficial se utilizaron 16 varillas de hierro corrugado de media pulgada de grosor y 30 cm de largo en cada parcela, estas varillas fueron marcadas con una lima cada 0.33 cm de aplicar los tratamientos se montaron las varillas de hierro a 20 cm dentro del suelo, se esperó dos meses para medir la altura de las varillas. La variable medida en este estudio fue la diferencia de alturas de las varillas a la superficie suelo, pre y post tratamiento para los cuatro tratamiento. Luego de obtener esta medición de descenso o ascenso de la varilla en referencia a los 20 cm se calculó el volumen de suelos utilizando como área los 400 m^2 que fue el área de medición efectiva de medición en la parcela.

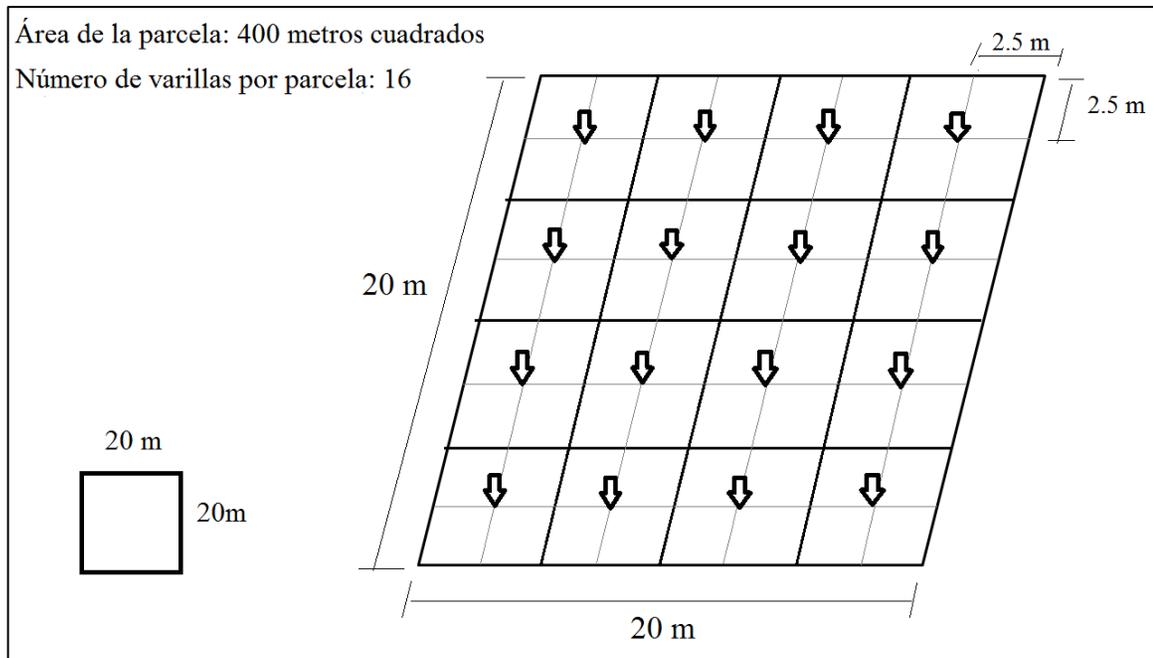


Figura 3. Dimensionamiento del área de medición efectiva de erosión hídrica en la parcela.

Análisis estadístico. Para el análisis de los datos de erosión primero se probó la normalidad de la distribución de los datos para luego correr pruebas de inferencias paramétricas con el complemento de Excel Real Statistics®. Se usaron pruebas T en caso de encontrar similitudes en las medias de erosión y un análisis de varianzas de dos factores con replicaciones, siendo los rangos de pendiente y el tipo de fuego aplicado los dos factores aplicados para el análisis. A modo complementario se realizó un análisis de contraste (post-ANOVA), en este se contrastaron el uso de fuego versus el control y las quemadas prescritas contra las quemadas controladas. Todas estas pruebas estadísticas se corrieron a un nivel de confianza del 95% que es el recomendado para este tipo de estudios.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estimación de la cobertura forestal. Se midió el diámetro de dos parcelas circulares de 500 m² por cada sitio de ocho parcelas, haciendo un área de 1,000 m² por sitio y un total de 3,000 m² en total. Si el área efectiva total de las parcelas en los sitios era de 9,600m² significa que se tuvo una intensidad de muestreo del 31%. Se observó un promedio de 18 clases diamétricas por sitio (Figura 4).

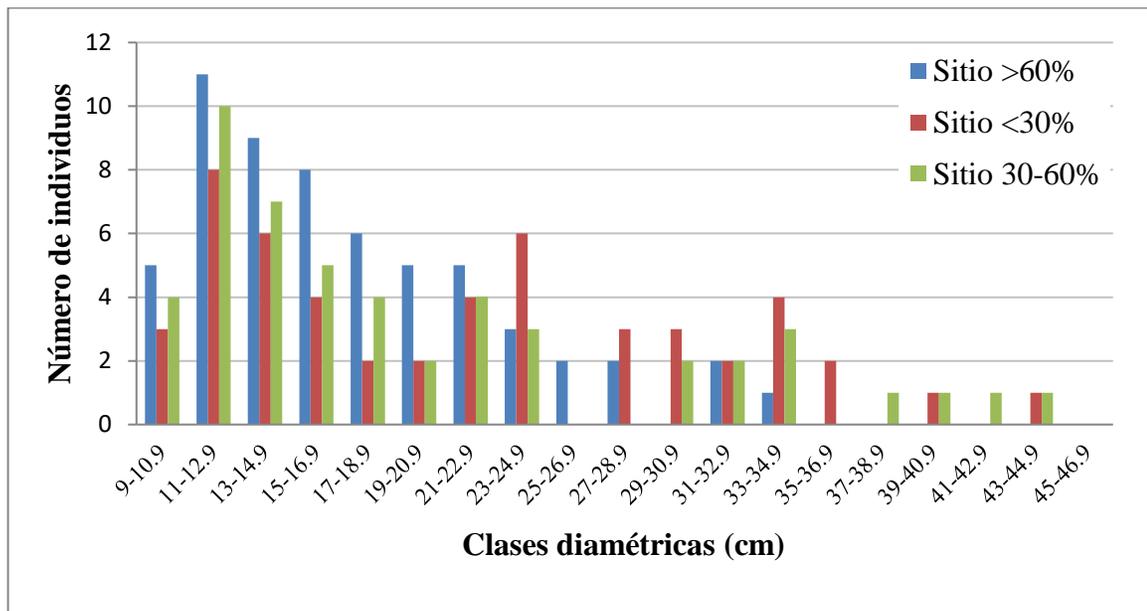


Figura 4. Distribución de individuos por clase diamétrica en los tres sitios de estudio del bosque de coníferas, Santa Inés.

Para comprobar que no había diferencias entre la cantidad de individuos por clases diamétricas en los tres sitios se corrió un análisis de varianzas. De acuerdo al mismo no hay diferencias significativas entre la distribución diamétrica presente en los tres sitios ($p=0.85$). Esto implica que las 24 parcelas tuvieron un grado de exposición similar a la erosión hídrica causada por la precipitación.

Registro de la precipitación. Después de 68 días del montaje de las varillas luego de los tratamientos se recogieron los datos finales del pluviómetro instalado en la comunidad Los Lirios. Se recibió una precipitación total acumulada de 331 mm lo que representa el 30% de la precipitación media anual en solo dos meses y ocho días. Tuvo un record de 106 mm el 29 de mayo del 2016 (Figura 5).

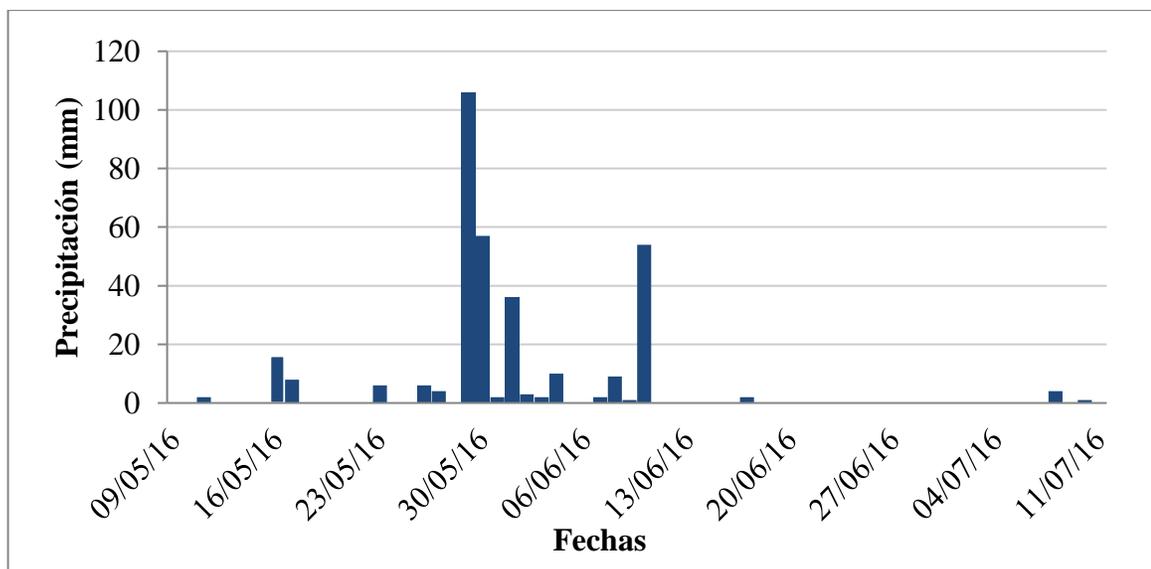


Figura 5. Precipitación diaria entre el 9 de mayo y 11 de julio del 2016.

Medición de la erosión hídrica y estimación en volumen. Se hicieron dos revisiones de las varillas en las parcelas, la primera a los 42 días después de la aplicación del tratamiento y el montaje de las mismas y la segunda revisión a los 68 días. Las lecturas de las varillas fueron tomadas de acuerdo a las líneas marcadas cada 0.33 cm, una vez multiplicadas por ese factor, se convirtió a metros para calcular el volumen de suelo en metros cúbicos de acuerdo al área efectiva de medición (400 m²), los resultados fueron los siguientes:

Cuadro 2. Estimación de volumen de suelo expresado en metros cúbicos para los cuatro tratamientos y los tres rangos de pendiente.

Rangos de pendientes	Tratamientos			
	Q.C.	Q.P.	I	Control
< 30%	9.24	2.23	11.96	-0.25
	9.49	2.48	13.70	-0.83
30-60%	13.53	6.44	19.22	0.41
	16.17	7.10	20.87	0.25
> 60%	19.31	8.66	19.47	1.65
	19.64	9.82	20.96	1.32

QC: quemas controladas, QP: quema prescritas, I: incendio, Control: sin intervención.

Los valores negativos en las dos parcelas de control en el sitio con pendiente < 30% se deben a una acumulación de sedimentos y materia orgánica en la parte baja de las parcelas. Estas se evidenciaron al momento de la lectura de varillas y encontrar la línea de los 20 cm del suelo enterrada por 1 o 3 cm de suelo.

Luego de la estimación de volumen usando estadística descriptiva se generó un diagrama de caja para visualizar la distribución de los datos y detectar valores atípicos, el diagrama obtenido arrojó una distribución de datos normal sin valores atípicos (Figura 6).

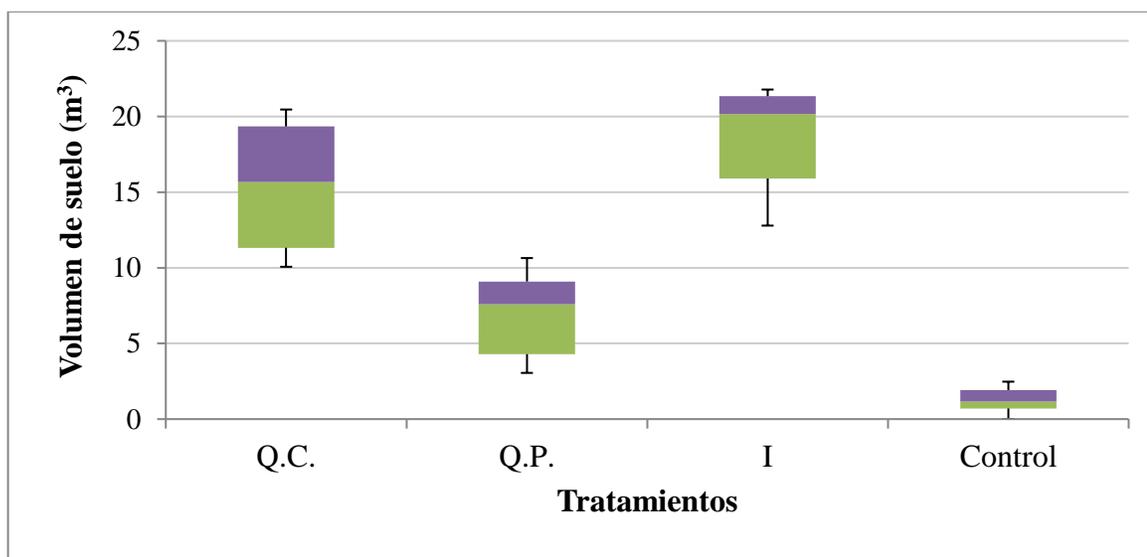


Figura 6. Diagrama de caja ajustado de los cuatro tratamientos en X y el volumen de suelo erosionado en metros cúbicos en el eje Y.

Para determinar la normalidad de los datos se hizo el test de Shapiro-Wilk que es útil para este estudio ya que tiene un tamaño de muestra muy pequeño. Los resultados de esta prueba fueron de todos los datos en los cuatro tratamientos tienen una distribución normal (Cuadro 3) y se puede hacer pruebas de inferencia paramétricas.

Cuadro 3. Prueba de Shapiro-Wilk para determinar normalidad de la distribución.

Shapiro-Wilk Test	Q.C.	Q.P.	I	Control
p	0.28	0.36	0.07	0.84
alfa	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	si	si	si	si

p: significancia al 0.05, QC: quemas controladas, QP: quemas prescritas, I: incendios, Control: sin intervención.

Para determinar diferencias entre el factor pendiente y el factor de tipo de tratamiento con fuego se corrió un análisis de varianza de dos factores con réplica, se escogió este análisis porque se ajustaba perfectamente a este tipo de datos, los resultados indicaron que si hay diferencias de erosión en los tres rangos de pendiente ($p < 0.05$) y también hay diferencias

significativas entre los tipos de tratamientos ($p < 0.05$), adicionalmente se confirmó que la interacción entre estos dos factores es significativa (Cuadro 4).

Cuadro 4. Análisis de varianza de 2 factores con réplica con un alfa de 0.05.

Factores	g.l.	F	p
Pendientes	2	125.65	8.96E-09
Tratamientos	3	515.11	6.12E-13
Interacción	6	10.23	0.000395

g.l.: grados de libertad, F: relación de cuadrados medios, p: significancia estadística.

La interacción también es vista de forma visual en la Figura 7, esta interacción es medida de acuerdo a la diferencia de pendientes en las líneas, una diferencia mayor indica un menor grado de interacción, en la gráfica se observan las menores diferencias en las pendientes especialmente en las líneas de incendios y quemas controladas, ya que esta última asemeja el efecto de un incendio a medida aumenta la inclinación en la que se ejecuta.

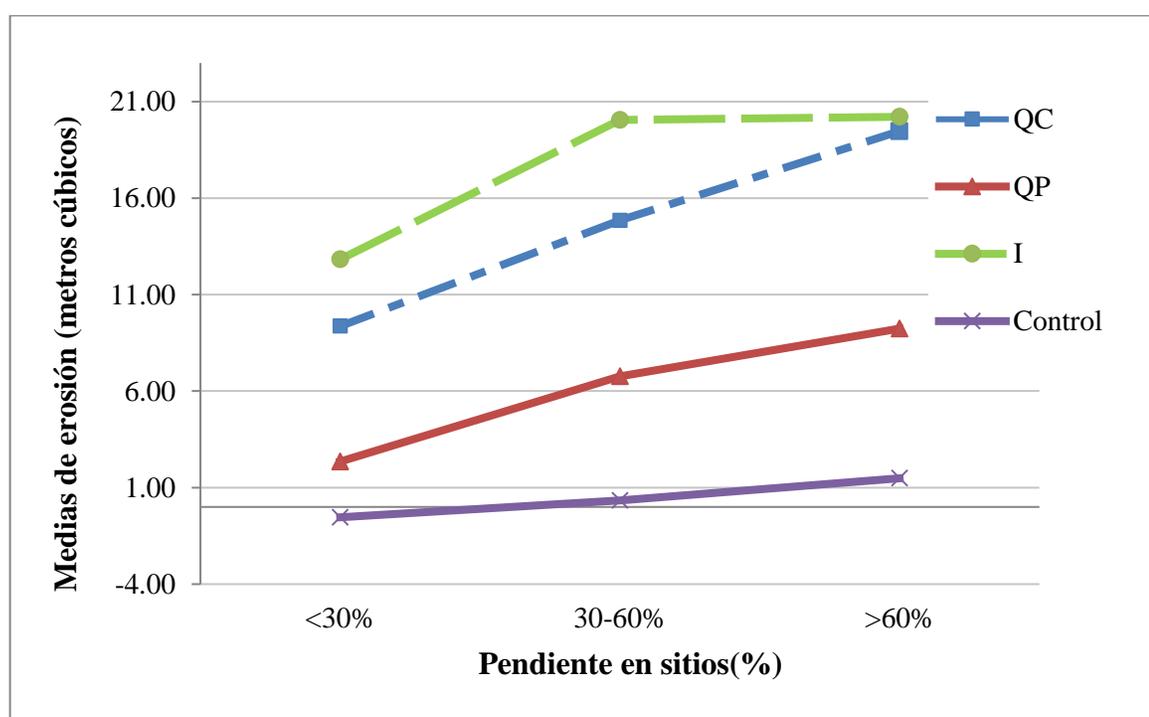


Figura 7. Gráfico de interacción de medias de erosión hídrica en parcelas para los cuatro tratamientos y sus tres rangos de pendientes.

A pesar de la diferencia visual entre la erosión producida por cada tratamiento de forma general (Figura 7) se detectaron similitudes de erosión de incendios entre los rangos de pendiente de 30-60% y > 60%. Para confirmar esta similitud se corrió una prueba t y se

determinó que no eran significativamente diferentes ($p > 0.05$) (Cuadro 5). Esto significa que en pendientes de 30% en adelante se puede perder un alto volumen de suelo si el mismo se encuentra descubierto, confirmando la teoría de repelencia al gua ocasionada por el incendio expuesto en estudios en el 2000 por DeBano.

Cuadro 5. Prueba t para detectar diferencias entre incendios en pendientes de 30-60% y mayores de 60%, con un alfa de 0.05.

Variables	Estadístico-t	g.l.	p
I (30-60%) vs I (> 60%)	0.1487	2	0.895

Estadístico-t: valor estadístico, g.l.: grados de libertad, p: significancia estadística.

También se detectaron similitudes entre los incendios y las quemas controladas en pendientes mayores al 60%. Para confirmar esta similitud se corrió otra prueba t. Esta aceptó la hipótesis nula y demostró que ambos resultados no eran significativamente diferentes con un valor ($p > 0.05$) (Cuadro 6). Esto se justifica como resultado esperado porque en los tres rangos de pendiente las quemas controladas dejaban gran parte o todo el suelo descubierto y eventualmente a medida incrementaba la pendiente, las quemas controladas asemejaron el efecto de los incendios.

Cuadro 6. Prueba t para detectar diferencias entre quemas controladas e incendios en pendientes mayores a 60%, con un alfa de 0.05.

Variables	Estadístico-t	g.l.	p
Q.C(> 60%) vs I(> 60%)	0.9762	2	0.432

Estadístico-t: valor estadístico, g.l.: grados de libertad, p: significancia estadística

Posterior al análisis de varianzas de dos factores se corrió un análisis de contrastes para verificar diferencias de forma más exacta y considerando tres hipótesis nulas. En una, se propuso que no habría diferencia entre la no aplicación (control) y la aplicación de fuego (los otros tres tratamientos). Otra fue que no habría diferencias entre el fuego descontrolado (incendio) y los tratamientos controlados (quemas prescritas y quemas controladas). Por último que no existirían diferencias entre quemas prescritas contra quemas controladas que fueron los tratamientos controlados (Cuadro 7).

Cuadro 7. Prueba post ANOVA de contraste.

Contraste	g.l.	alfa	p
Sin fuego vs Fuego	12	0.05	8.54E-13
Incendios vs Quemias	12	0.05	7.56E-10
QP vs QC	12	0.05	8.11E-10

g.l.: grados de libertad, p: significancia estadística.

Esta prueba se realizó tomando en cuenta los tres rangos de pendientes y los resultados rechazaron las tres hipótesis nulas. La erosión fue diferente con y sin la aplicación del fuego confirmando resultados expuestos en estudios anteriores donde se demostró que un efecto del fuego era la desagregación del suelo (Mataix-Solera et al., 2011). También hubo diferencias significativas entre los incendios y los tipos de quemas a pesar de las similitudes a pendientes mayores al 60%, lo que puede explicarse por el efecto mínimo de las quemas prescritas que contrastaron los efectos de las quemas controladas durante el análisis. Por último, se confirmó diferencias entre los tipos de quemas siendo la quema prescrita la que produce menos erosión, lo que se compara a un estudio anterior que demuestra que rodales expuestos a quemas prescritas presentan una baja pérdida nutrientes presentes en el suelo (Solorio y Garnica, 2012).

4. CONCLUSIONES

- Los cuatro tratamientos tuvieron diferencias significativas de forma general en los tres rangos de pendiente, aunque algunos tuvieron similitudes individuales como en el caso de las quemas controladas y los incendios en pendientes mayores del 60%.
- El tratamiento incendio fue el que presentó mayor cambio hipsométrico por volumen de suelo erosionado por la precipitación en los tres rangos de pendiente, seguido por las quemas controladas que asemejaban su efecto a mayores pendientes.
- Las quemas prescritas demostraron ser el tratamiento que produjo el menor efecto en erosión hídrica en referencia a las parcelas de control y representa la mejor alternativa para la protección de los bosques.
- Aún sin ningún tratamiento con fuego aplicado los suelos del bosque de coníferas de Santa Inés presentaron una ligera erosión hídrica pero esta fue insignificante en comparación a la erosión producida por los otros tratamientos.

5. RECOMENDACIONES

- Establecer el uso exclusivo de las quemas prescritas para actividades de protección del bosque y restringir la aplicación de las quemas controladas especialmente en pendientes mayores de 30%.
- Realizar un estudio de seguimiento considerando la intensidad en cada evento de precipitación e identificar a que intensidad la erosión hídrica es mayor para los cuatro tratamientos en los tres rangos de pendiente.
- Realizar un estudio comparativo considerando la capacidad de regeneración de la biomasa del dosel inferior en los tres sitios después de los tratamientos.
- Se recomienda realizar un estudio social de percepción en las comunidades aledañas que residen en los bosques que actualmente maneja Zamorano, este estudio deberá considerar opiniones de las actividades de protección como las rondas, quemas prescritas y el manejo que Zamorano le da a los bosques de forma general.

6. LITERATURA CITADA

- Acosta, A. F. y Kucharsky, O. L. (2012). Estudio edafológico y de cobertura para la modelación hidrológica con el modelo SWAT de la microcuenca Santa Inés, Honduras. Tesis de pre-grado. *Honduras, Escuela Agrícola Panamericana*, 35p.
- Aragoneses, C. y Rábade, J. M. (2004). Propuesta metodológica para el Análisis de la Vulnerabilidad y de la Gravedad Potencial de los Incendios Forestales en el marco de la Protección Civil. *II Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación y Economía de los Programas de Protección Contra Incendios Forestales* (págs. 19-22). Córdoba: Propuestas 2004.
- Balbi, J. H., Morandini, F., Silvani, X., Filippi, J. B. y Rinieri, F. (2009). A physical model for wildland fires. *Combustion and Flame*, 2217-2230.
- Cabascango, W. M. (2015). Modelación de cambios de usos y coberturas de la tierra bajo un escenario tendencial y restrictivo en la microcuenca Santa Inés. Tesis de pre-grado. *Honduras, Escuela Agrícola Panamericana*, 33p.
- DeBano, L. F. (2000). The role of fire and soil on water repellency in wildland environments: a review. *Journal of Hydrology*, 195-206.
- Espinoza, L. A. y Rodríguez, D. A. (2008). Sinecología del sotobosque de *Pinus hartwegii* dos y tres años después de quemas prescritas. *Agrociencia*, 42(6), 717-730.
- Huezo, L. A. (2011). Caracterización hidrológica y balance hídrico de la microcuenca Santa Inés, Honduras. Tesis de pre-grado. *Honduras Escuela Agrícola Panamericana*, 25p.
- Instituto de Conservación Forestal. (2015). *Plan Nacional de protección contra incendios forestales 2014-2015*. Tegucigalpa: CONAPROFOR.
- Kim, D., Sobel, A. H., Del Genio, A. D. y Chen, Y. (2012). The tropical subseasonal variability simulated in the NASA GISS general circulation model. *Journal of Climate*, 25(13), 4641-4659.
- Martínez, G. y Díaz, J. J. (2010). Morfometría en la cuenca hidrológica de San José del Cabo, Baja California sur, México. *Revista Geológica de América Central*, 44.

- Mataix-Solera, J., Cerdà, A. y Arcenequi, V. (2011). Fire effects on soil aggregation: a review. *Earth-Science Reviews*, 109(1), 44-60.
- Padilla, G. (2012). *Estado de la diversidad biológica de los árboles y bosques de Honduras (FAO)*. Recuperado de Repositorio Forestal. CATIE:
<http://biblioteca.catie.ac.cr:5050/repositorioforestal/handle/123456789/6159>
- Podur, J. y Wotton, M. (2010). Will climate change overwhelm fire management capacity? *Ecological Modelling*, 221(9), 1310-1390.
- Salazar, M. A. (2011). *Políticas y estrategias de protección contra incendios forestales en Honduras*. Obtenido de Depósitos de documentos de la FAO:
<http://www.fao.org/docrep/003/x2095s/x2095s0y.htm#fn3>
- Solorio, J. D. y Garnica, J. F. (2012). Efecto de las quemas prescritas sobre algunas características de suelo en un rodal de pino. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*(20), 113-128.
- Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo. (1999). *Guías para realización de quemas controladas*. Recuperado de PROYECTO DE MANEJO FORESTAL SOSTENIBLE BOLFOR, USAID: http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/Pnacg822.pdf
- Vélez, R. (1999). Perspectiva global de los incendios forestales en el mundo al final del siglo XX. *Incendios Históricos*, 411-422.