

Determinación de la pérdida de suelo mediante un mini-simulador de lluvia tipo CIAT en distintos sistemas productivos implementados en zonas de influencia de los parques naturales regionales del departamento del Huila

Determination of soil loss by a mini-type rainfall simulator CIAT implemented in different production systems in areas of influence of regional natural parks department of Huila

Oscar Fernando Atagualpa Ch. ¹, Juan David Sanmiguel C. ² y Armando Torrente T. ³

Resumen

En este trabajo se evaluó la susceptibilidad de suelos a la erosión hídrica en sistemas productivos característicos de dos Parque Naturales Regionales del departamento del Huila donde predominan cultivos de Café, Frijol y Mora en 4 lotes con pendientes entre 12 – 40%, mediante el uso de un mini-simulador de lluvia portátil tipo CIAT que funcionan bajo el sistema de goteo, a condiciones controladas. Se realizaron treinta y seis (36) simulaciones de lluvia con una duración de 45 minutos dentro de seis (6) tratamientos con tres repeticiones y dos (2) intensidades de lluvia media (60 mm/h) y alta (120 mm/h) para determinar la lámina infiltrada (mm), lámina de escorrentía (mm) la cantidad de suelo erodado (t.ha-1), apoyado con una caracterización de análisis de propiedades físicas y químicas de suelos. Las muestras de suelo y escorrentía superficial fueron analizadas en laboratorio de recursos GEOAGROAMBIENTALES de la universidad Surcolombiana, siguiendo los procedimientos de análisis de suelos del IGAC. Los análisis reportaron para estos suelos una textura franco arenosa, pH 4.5 a 5.1 correspondientes a suelos ácidos, con porcentaje de CO menor al 5%, CIC entre 19-38 cmol+*kg-1. se determinó la cantidad de suelo desplazado por la escorrentía superficial en lluvias simuladas, obteniéndose una media estadísticas de suelo erodado en terreno para cultivos de Café (7,3 g/m2), Frijol (6 g/m2) y Mora (3,7 g/m2) en tratamientos con cobertura vegetal y sin cobertura vegetal aérea (11,8 g/m2), (15 g/m2), (8,9 g/m2) en su mismo orden respectivamente. Utilizando las variables que se relacionan estadísticamente en cada tratamiento, se obtuvieron modelos estadísticos que predicen el comportamiento real de la erosión en estos sistemas productivos (café agroforestal), (café tradicional, mora sin cobertura), (frijol después de una quema y mora con cobertura). Con las variables predictivas de Intensidad de lluvia, Nivel de cobertura vegetal y lámina de escorrentía.

Palabras clave: intensidad de lluvia; escorrentía; infiltración y erosión

[1] Ingeniero Agrícola. Estudiante universidad Surcolombiana. Neiva Av. Pastrana Borrero, Carrera 1. ofach@hotmail.com

[2] Ingeniero Agrícola. Estudiante universidad Surcolombiana. Neiva Av. Pastrana Borrero, Carrera 1. filiusdeus777@gmail.com

[3] Ph.D Armando Torrente Trujillo. Neiva Av. Pastrana Borrero, Carrera 1. armando.torrente@gmail.com

Abstract

In this paper were evaluated the susceptibility of soils to water erosion in typical production systems of two Regional Natural Park of the department of Huila where dominated cultures of coffee, bean and Blackberry in 4 batches with slopes between 12-40%, using a mini portable rainfall simulator type CIAT operating with drip system, under controlled conditions. Thirty six (36) rainfall simulations were performed with a duration of 45 minutes in six (6) treatments with three replicates and two (2) intensities average rainfall (60 mm/h) and high (120 mm/h) to determine infiltrated sheet of water (mm), sheet runoff (mm) the amount of eroded soil (t ha⁻¹), backed with a characterization of physical and chemical analysis of soil properties. Soil samples and surface runoff were analyzed in GEOAGROAMBIENTALES laboratory resources at Surcolombiana University, following the procedures soil analysis from IGAC. The analyzes reported for these soils a loamy sandy texture, pH 4.5 to 5.1 corresponding to acid soils with lower percentage of 5% CO, CIC between 19-38 cmol + * kg⁻¹. the amount of soil displaced by surface runoff under simulated rainfall was determined, yielding an average statistics soil eroded land for Coffee plantations (7.3 g/m²), Beans (6 g/m²) and Blackberry (3.7 g / m²) in mulched treatments without aerial vegetation cover (11.8 g/m²) (15 g/m²) (8.9g/m²) respectively. Using the variables that relate statistically in each treatment, statistical models predicting the actual behavior of erosion in these production systems (agroforestry coffee) were obtained (traditional coffee, blackberry unhedged), (beans after burning and blackberry with cover). With rain intensity predictor variables, level vegetation cover and sheet runoff.

Keywords: intensities rainfall; runoff; infiltration and erosion

1. Introducción

La agricultura ha sido identificada como una de las actividades que causan más impacto adverso al ambiente en el área rural. Las diferentes labores agrícolas y el uso de agroquímicos contribuyen a la contaminación del suelo y de las fuentes de agua, así mismo, provoca la erosión y pérdida de nutrientes del suelo afectando la productividad del cultivo y el ambiente (Bilwi, 2009).

Los agentes más importantes que actúan en la erosión son el agua y el viento. En función de esto se conocen dos tipos de erosión, la eólica y la hídrica. A nivel mundial, la erosión hídrica es el tipo más importante de degradación de suelos y ocupa aproximadamente 1,093 millones de hectáreas (56%) del área total afectada por degradación de suelo inducida por el hombre. La erosión eólica es, a continuación, la que afecta mayor superficie y ocupa 548 millones de hectáreas (28%) del área afectada (FAO 2002).

Un diagnóstico que fue emitido por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales en Colombia más de 2'300.000 ha son erosionadas, a una escala superior a 1.8 t. km² año y el 40 por ciento del territorio de Colombia está erosionado, ha perdido su cobertura vegetal y está en franco desgaste (IDEAM, 2001).

En Cenicafé se llevó a cabo una investigación titulada Evaluación del riesgo por erosión potencial de la zona cafetera central del departamento de Caldas en el 2006. Se encontró que cerca del 90% del área de estudio es susceptible a pérdidas de suelo superiores a 25 tn/ha-año (Ramírez, 2006).

Si no se detiene el aumento de las zonas atacadas con problemas de erosión, la frontera agrícola se verá disminuida aún más, disminuirá gradualmente la producción de alimentos y aumentará la pobreza en las zonas atacadas (Torres, 2000). Con el objetivo de prevenir estos problemas se han adelantado estudios que permitan comprender este proceso, para así poder prevenirlo y detener su avance.

En la última década el concepto de desarrollo sostenible ha ganado espacio en las discusiones políticas y se le ha dado un énfasis especial a su inclusión en el desarrollo rural. Sin embargo, su aplicación práctica difiere significativamente de los modelos teóricos. Esto se debe a varios factores entre los cuales sobresale la urgencia de priorizar el crecimiento económico sobre el desarrollo social y la falta de estudios de caso que generen suficiente información sobre el potencial de las externalidades ambientales y sociales para generar nuevas dinámicas de desarrollo. De igual manera se debe estudiar la tolerancia de pérdida de suelo que es el máximo nivel de erosión del suelo que permite un elevado nivel de productividad del cultivo, sostenible económica e indefinidamente (Wischmeier & Smith, 1978)

Para esta investigación se adopta el uso de un Mini-simulador de lluvia tipo CIAT como herramienta fundamental para la cuantificación de la infiltración, escorrentía y erosión de suelos generados por una regadera de lluvia ajustable a la intensidad sobre un área de prueba definida (Cobo, 1998). La duración, intensidad y energía cinética de la lluvia pueden ser modificadas con el simulador, dando alta sensibilidad de los resultados de la prueba para diferentes propiedades del suelo y coberturas vegetales.

El manejo adecuado de las zonas protegidas del departamento del Huila conlleva a la restauración y conservación de ecosistemas ricos en flora, fauna, recursos hídricos y paisajísticos, los cuales albergan gran parte de la riqueza biológica del país; la población que habita en estas zonas, han desarrollado diferentes prácticas agropecuarias, deforestaciones y aprovechamiento inadecuado de los recursos presentes en la zona; el estudio de pérdida de suelo por erosión se hará con el fin de determinar el deterioro del suelo en estas áreas que contribuya a elaborar un plan de manejo acorde y sostenible para ser desarrollada por la población que habitan en ellas.

2. Metodología

2.1 Localización

Las zonas de estudio se encuentran ubicadas en zonas de influencia de dos Parque Naturales Regionales del departamento del Huila, en el parque Siberia-Ceibas - municipio de Neiva - Vereda Sanmiguel con coordenadas geográficas 2°51'34.26"N - 75° 5'4.99"O con uso del suelo bajo Café tradicional y vereda primavera 2°52'28.10"N - 75° 6'11.20"O con uso en café agroforestal, en el Parque Cerro Paramo Miraflores Municipio de Gigante – Vereda Alto tres esquinas 2°18'23.05"N - 75°28'19.15"O, con uso en Frijol asociado a Maíz y Vereda Alto corozal 2°18'40.52"N - 75°28'2.17"O con uso de cultivo de Mora. La localización de los parques naturales regionales se encuentra representada en la siguiente figura.

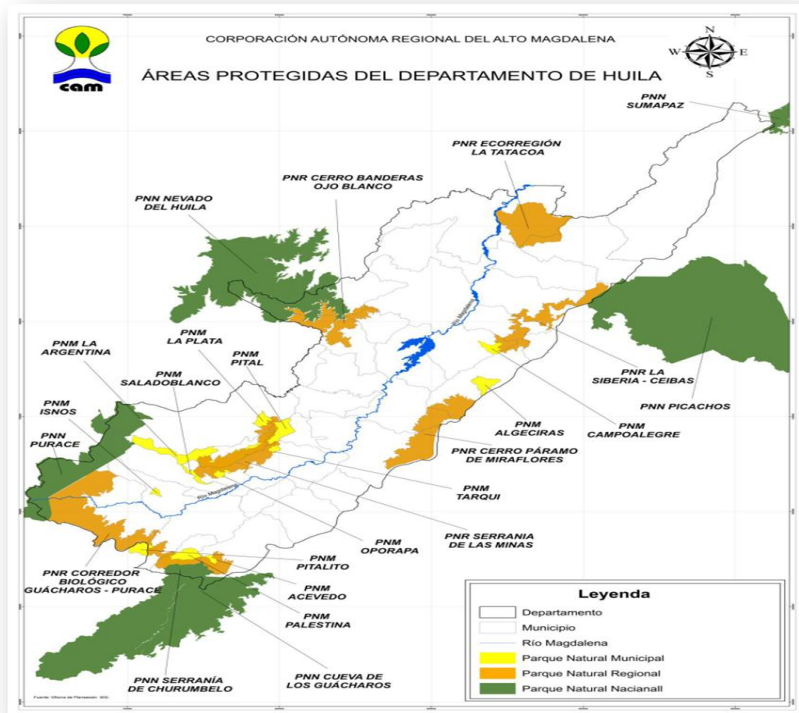


Figura 1. Localización del área de estudio (ONF ANDINA, 2015)

2.2 Parámetros de evaluación con Mini-simulador de lluvias CIAT

La evaluación de la susceptibilidad a la erosión se basó en la utilización de un mini-simulador de lluvia portátil CIAT (Amezquita y Campo 2004) en cuatro sistemas productivos de cultivos para determinar las relaciones existentes entre suelo erodado, lámina de escorrentía y lámina de infiltración por el efecto de las gotas de lluvia de intensidades medias y altas ya que es el parámetro más importante en cuanto a erosión se refiere (Morgan, 1986), complementando con el análisis en laboratorio de algunas propiedades físicas y químicas en suelos disturbados y sin disturbar.

Para medir la intensidad de lluvia en la cual se va a trabajar con el mini-simulador. se recogió el volumen total con la ayuda de un recipiente que abarca toda el área de estudio del aparato durante 3 minutos haciendo uso del principio vaso Mariotte. Se presenta la siguiente ecuación.

$$Y = 0,1536x + 3,5869 \quad (1)$$

Se estableció que la ecuación (1) presenta un modelo regresión lineal graficando la intensidad de lluvia mm/h (milímetros por hora) en la ordenada contra el volumen total (cc) en la abscisa con datos ya determinados en la manual del mini-simulador de lluvias CIAT (Amezquita y Campo 2004), como se observa en la figura 2. Se reemplaza el volumen recolectado después de tres minutos de simulación en la ecuación lineal, para determinar la intensidad.

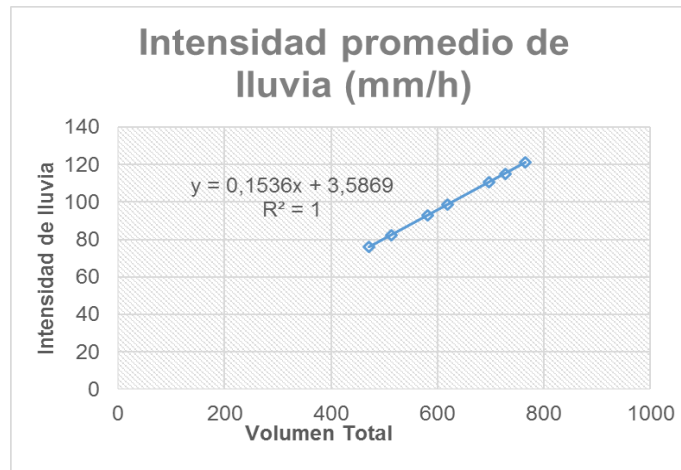


Figura 2. Determinación de la intensidad de lluvia promedio

En las pruebas experimentales de campo se utilizó el mini-simulador de lluvia en sistemas con cultivo de café tradicional, café agroforestal, frijol asociado a maíz y Mora cada uno bajo dos diferentes tratamientos de cobertura vegetal (tratamiento 1. con cobertura vegetal y tratamiento 2. sin cobertura vegetal aérea) donde se evalúa el efecto de la lluvia a intensidades medias y altas, durante cuarenta y cinco minutos de acuerdo a lo propuesto por Morgan (1986) donde plantea que la mayor erosión se presenta en las lluvias naturales con láminas entre 30 y 60mm.

Se estableció un diseño experimental teniendo en cuenta las micropendientes del terreno 12-40%, el área de evaluación en campo es 32 cm por 40 cm, el uso y manejo del suelo (nivel de cobertura del suelo), la intensidad de lluvia media 60mm/h y alta 120mm/h, el área de evaluación en campo es 32 cm por 40 cm diámetro de gota de lluvia de (2,75mm), tiempo requerido para cada simulación, cuarenta y cinco minutos, con toma de muestra cada cinco minutos para escorrentía, infiltración y suelo perdido y tres repeticiones para cada tratamiento para un total de 36 simulaciones durante 2 meses.

Tratamiento 1

Se realizan las pruebas con el mini-simulador de lluvia sin disturbar el área efectiva de estudio dejándose la cobertura vegetal que se halla en ese momento.

Tratamiento 2

Para cada evaluación se limpió cuidadosamente el área de estudio de cobertura vegetal viva y muerta su parte aérea. Para el cultivo de frijol adicionalmente se practicó una quema de este material.

2.3 Análisis físicos, químicos e hidrodinámicos de laboratorio

Para cada uno de los sistemas productivos se hizo una caracterización del suelo que consistió en un diseño completamente al azar tomando 12 muestras disturbadas y dos muestras sin disturbar para las propiedades físicas, que es un factor necesario para el cálculo de la erodabilidad. De igual manera se toman dos muestras sin disturbar para las propiedades químicas y dos pruebas en campo para determinar conductividad hidráulica e infiltración, las muestras de suelo y escorrentía superficial fueron analizadas en laboratorio de recursos GEOAGROAMBIENTALES de la universidad Surcolombiana.

Algunos suelos tropicales, donde sus resultados demuestran que hay rápidos cambios en la fracción de la materia orgánica del suelo bajo un corto periodo de incubación, y que este cambio tiene un pronunciado

efecto positivo en la estructura del suelo (Oyedele, 1999), la cual es una variable que afecta para el cálculo de la erodabilidad, que mide la susceptibilidad del suelo a ser erosionado, calculada con la ecuación de USLE.

2.4 Análisis estadísticos

Se hace un análisis estadístico evaluado en el Software IBM SPSS Statistic 21, para tres cultivos diferentes, los cuales fueron sometidos a tratamientos distintos para medir su nivel de erosión y determinar su grado de relación. Para las comparaciones entre tratamientos se utilizaron dos métodos, la Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes y la Prueba T Student para muestras independientes, estas se utilizaron para ver la significancia que hay entre los tratamientos en cada cultivo. Evaluando las variables de intensidad de lluvia, de 60mm/h o 120 mm/h lámina aplicada mm/m², lámina de escorrentía mm/m², lámina infiltrada mm/m², (se dividía cada dato por el área efectiva del mini-simulador de lluvias), % de cobertura (porcentaje de cobertura observada en el área efectiva para cada evaluación), micropendiente (medida desde el área efectiva del mini-simulador) y la erosión en gr/m², tomada de cada una de las treinta y seis (36) simulaciones evaluadas.

Finalmente determinando las correlaciones (Correlación de Pearson y Spearman) y las comparaciones de los tratamientos a través de cada uno de los métodos estadísticos, se realiza un modelo estadístico, el cual predice el comportamiento de la erosión, solo con la variable que más se correlaciona (variable predictiva), que es la variable independiente que se puede utilizar para predecir el valor de otra, logrando marcar una tendencia del comportamiento de la erosión, para que esta aumente o disminuya.

3. Resultados

3.1 Análisis físicos de los suelos

En general, los suelos estudiados son poco a moderadamente profundos, poseen textura Franco arenosa para los lotes de Café (Agroforestal y Tradicional sin sombra) y arenoso franco para los lotes de (Mora y Frijol asociado a Maíz), con ligeros cambios en profundidad, densidades aparentes bajas y densidades reales correspondientes a suelos minerales, con presencia baja, media y alta de materia orgánica, la capacidad de aire y la porosidad de los suelos son bajas, el agua disponible para las plantas varía de baja a media en los diferentes suelos estudiados. La infiltración varía de moderada a muy rápida y la conductividad hidráulica de moderadamente rápida a muy rápida, aspecto de buena medida que está relacionado con la textura, densidad aparente y porosidad.

3.1 Índice de erodabilidad (k)

Al analizar el índice para las diferentes localidades se demuestra que la mayor erodabilidad se presenta en los suelos del Sistema productivo Frijol asociado a Maíz en la vereda alto tres esquinas con 0,138 Ton/Ha, mostrando el segundo mayor porcentaje de limos y arenas finas (que contribuyen a generar una mayor escorrentía y en consecuencia mayor erosión superficial), seguido por Café Agroforestal con 0,103 Ton/ha este mostrando los valores más altos de limos y arenas fina, haciéndolo un suelos moderadamente erodables por su textura franco arenosa. Por el contrario, los menores índices de erodabilidad corresponden a los suelos donde se encuentran los sistemas productivos de café sin sombra y Mora con 0,077 y 0,081 Ton/ha respectivamente, presentan los menores contenidos de limos y arenas finas, así como una rápida infiltración, estructura media y mayores niveles de materia orgánica, siendo estos suelos menos susceptibles a la erosión según sus propiedades físicas.

3.2 Características hidrodinámicas de los suelos

En el sistema productivo frijol asociado a maíz presenta los valores más bajos en cuanto a infiltración, 2,36 con clasificación moderada, y conductividad hidráulica en comparación con los demás sistemas productivos en evaluación, arrojando como resultado infiltración moderada y conductividad hidráulica 1,96 moderadamente

rápida, presenta muy baja porosidad y densidad real media pero no se evidencia problemas de sellamiento superficial debido a su textura Franco arenosa, contenido medio de materia orgánico.

En el sistema productivo de Frijol asociado a Maíz la infiltración resulto moderada motivo por el cual el lote presentaba musgo en su superficie y canales de drenaje problema que el agricultor ya había identificado y dado solución, su conductividad hidráulica es moderadamente rápida, presenta baja porosidad mostrando que están relacionadas entre sí.

En el resto de los sistemas productivos café agroforestal y Mora la infiltración es muy rápida y la conductividad hidráulica muy rápida a rápida. Esto indica que el drenaje interno del suelo es adecuado y se requiere dosificar el suministro de agua de riego acorde con la capacidad de infiltración de cada uno de los suelos estudiados.

3.3 Análisis químico de los suelos.

Los suelos estudiados para este trabajo presentan pH muy fuertemente ácido en el sistema productivo (Café sin sombra y Mora), hasta Extremadamente ácido (Café agroforestal) y fuertemente ácido (Frijol asociado a Maíz). En general los contenidos de materia orgánica de los suelos son bajos a excepción del sistema productivo de (café agroforestal) donde el valor es medio. La capacidad de intercambio iónico es de media a alta, insaturados, bajos niveles de bases intercambiables, alta acidez intercambiable con algunas deficiencias de elementos menores y relaciones iónicas deficientes por los altos niveles de Hierro en el suelo.

Los niveles encontrados de carbono Orgánico en los cuatro sistemas productivos de estudio muestra contenidos que van desde Bajo para (frijol asociado a Maíz y Mora), medio para (Café sin sombra y Café Agroforestal) este parámetro químico mide el estado de descomposición de la materia orgánica, entre mayor sea el % de humus, mayor será la fijación de Aniones, como: Nitrógeno, Fosforo, Azufre, Boro, Cloro, Molibdeno encontrándose para los cultivos estudiados, Entonces el % de Materia Orgánica es la fuerza que usa el suelo para retener los aniones, esta propiedad es muy importante debido a que es la única que es capaz de fijar aniones y cationes a la vez y contiene tres veces la capacidad coloidal de la arcilla.

3.4 Comparación de Medias por Tratamientos

Para el primer cultivo se aplicó la Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes, lo cual determino que la distribución de erosión para los dos tratamientos es la misma ($P=0,394$), de igual manera se utilizó esta prueba para el tercer cultivo llegando a la misma conclusión ($P=0,589$), por otro lado, para el segundo cultivo se trabajó con la Prueba T Student para muestras dependientes, donde se pudo verificar que aunque había una diferencia entre el tratamiento 3 y el tratamiento 4, no existían diferencias significativas entre sus medias ($P=0,062$), y muy posiblemente esto se debería al variabilidad de los datos, no obstante su nivel de significancia se acerca mucho al esperado ($\alpha=0,05$). La media más alta se encontró en el frijol después de una quema, la cual fue de $9,85 \text{ gr/m}^2$, seguido del café sin sombra $7,73 \text{ gr/m}^2$ y la mora si cobertura vegetal aérea $4,75 \text{ gr/m}^2$. Todo lo anterior se representa en la figura 3. Resultado que demuestra una vez más, que la quema es el peor tratamiento agrícola ya que deteriora tanto las propiedades físicas y químicas del suelo.

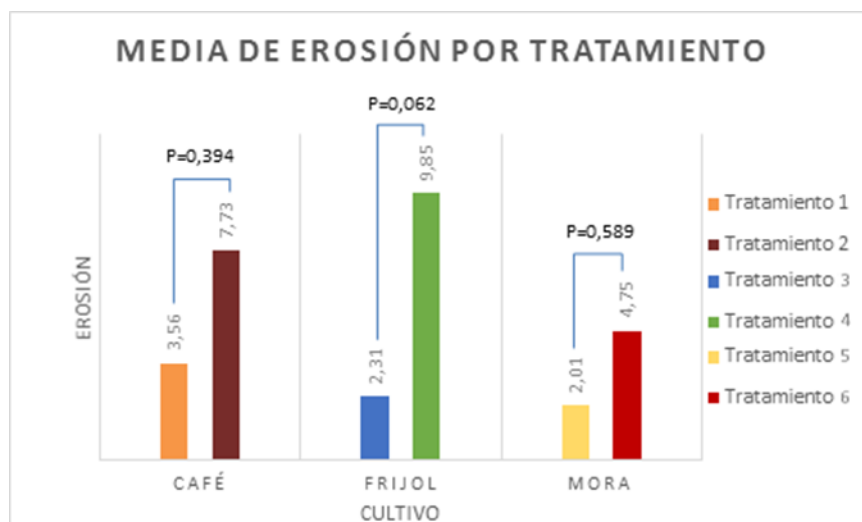


Figura 3. Comparación de tratamientos por medias de erosión

3. 5 Modelos estadísticos para los tratamientos evaluados

Se realizaron modelos estadísticos de regresión lineal múltiple y de regresión exponencial, los cuales arrojaban una predicción de erosión con una o dos variables predictivas para los tratamientos de los 3 cultivos evaluados, representados en la tabla 1. El de mayor grado de predicción fue para el tratamiento de café agroforestal $R^2= 0,997$, cuya variable predictiva fue la intensidad de lluvia. Los tratamientos 2 y 4 fueron realizados con modelos de regresión exponencial, para el café sin sombra $R^2=0,603$ fue el más bajo de todos los modelos, ya que los datos variaron enormemente unos con otros.

Tabla 1. Modelos estadísticos para los diferentes tratamientos evaluados

Tratamiento	Calificativo	Modelo	R^2
Café Agroforestal	Tratamiento 1	$Y=0,059*Intensidad-1,750$	0,997
Café sin sombra	Tratamiento 2	$Y=142,941*e^{(0,095*cobertura)}$	0,603
Frijol con barbecho	Tratamiento 3	No se determinó modelo de regresión útil	
Frijol después de una quema	Tratamiento 4	$Y=0,667*Lámina\ escorrentía-0,977$	0,833
Mora con cobertura vegetal aérea	Tratamiento 5	$Y=0,077*Lámina\ Escorrentía-0,082*cobertura+6,709$	0,964
Mora sin cobertura vegetal aérea	Tratamiento 6	$Y=0,072*cobertura^2 -5,054*cobertura+88,771$	0,899

Se utilizó la Regresión Lineal Múltiple, dejando en evidencia la Lámina Escorrentía y la Cobertura como variables predictivas a lo largo de las simulaciones, no obstante, la lámina escorrentía es la variable que mejor hace predecir el modelo, debido a que ésta es la única variable que aparece relacionada con la erosión, para el tratamiento de mora con cobertura vegetal aérea. Representada en la figura 4.

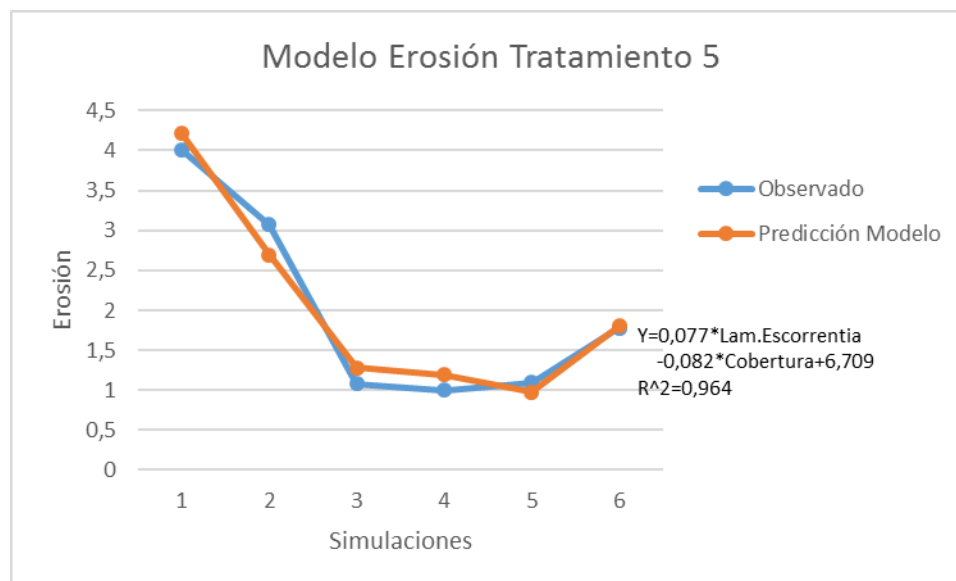


Figura 4. Modelo de regresión lineal múltiple para predicción de erosión en mora con cobertura vegetal aérea.

4. Conclusiones

Los suelos estudiados predominan las fracciones minerales de texturas gruesas con suelos básicamente franco arenosos y arenoso franco, fuertemente ácidos, con bajos contenidos de materia orgánica, media a alta capacidad de intercambio iónico, suelos insaturados, bajos niveles de bases intercambiables, alta acidez intercambiable con algunas deficiencias de elementos menores y relaciones iónicas deficientes por los altos niveles de Hierro en el suelo.

Por las características físicas y químicas actuales de los suelos de estudio, se sugiere en prácticas de cultivo, el fraccionamiento de abonos y fertilizantes al suelo. Es necesario la aplicación de abonos verdes y vermicompost al suelo para mejorar los niveles de materia orgánica, la aplicación de cal dolomita como enmienda para neutralizar la acidez. Aplicar algunos elementos menores deficientes en el suelo en formas quelatadas, para favorecer su disponibilidad y asimilación por las plantas.

Se evidencia en las simulaciones realizadas que los aumentos en la intensidad de lluvia es directamente proporcional a los aumentos en las láminas de escorrentía y por lo tanto genera fuertes crecientes en los resultados de suelo perdido, lo que señala que el suelo responde en diferentes formas a la intensidad de lluvia.

En general se observa que el proceso erosivo está muy influenciado por la capacidad de infiltración del suelo, la cual regula la escorrentía y por su parte la escorrentía está relacionada con la pérdida de suelo, es decir, que si la infiltración es alta, la pérdida de suelo será baja.

La variable cobertura vegetal demostró en el estudio que es un factor de mejoramiento del suelo, ya que entre mayor % de cobertura existen menores pérdidas de suelo en los sistemas productivos de frijol y mora, para sus respectivos tratamientos.

En el tratamiento 3 (frijol con barbecho) no existió una variabilidad de los datos analizados por los métodos estadísticos, debido a que su comportamiento resultó ser muy parecido, ya que, en los diferentes sitios de

evaluación, la cobertura presente hacía que los resultados de erosión fueran semejantes, independientemente de la intensidad aplicada.

No es posible asociar de forma confiable el comportamiento de la escorrentía, infiltración y suelo perdido con las propiedades físicas y químicas de los suelos debido a que se realizó una caracterización de los lotes con uso del suelo de cultivos tomando solo una muestra para analizar, contándose con pocos datos para realizar correlaciones entre variables.

5. Referencias bibliográficas

FAO., 2002. La erosión del suelo por el agua. Algunas medidas para combatirla en la tierra de cultivos. Roma, Italia P. 174 y 175 total de p 207

IDEAM., 2001. Sistema Nacional Ambiental Adscrito al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia, sede Bogotá Colombia. p 20-90.

Bilwi., Raam, 2009. Protocolo monitoreo de moléculas de plaguicidas, erosión y fertilidad del suelo en parcelas demostrativas del cultivo de frijol en la cuenca del río coco. Bluefields indian & caribbean University, Centro universitario Moravo, Nicaragua p 2, total p 44.

Ramirez., F. 2006. Susceptibilidad y predicción de la erosión en suelos de ladera de la zona cafetera colombiana. Tesis de grado ingeniería agrónoma, Universidad del Tolima-cenicafe. p. 98.

Torres P., 2000. Evaluación de la susceptibilidad a la erosión y de las características asociadas (infiltración y escorrentía) de dos suelos de ladera en el departamento del cauca, mediante un minisimulador de lluvia, tesis universidad del Valle, Cali. p 5-168.

Wischmeier, W.H. y Smith, D.D. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses, a Guide to Conservation Planning Agriculture Handbook N° 537. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Washington, US. National Soil Survey Center. 2002. Field Book for Describing and Sampling Soils Version 2.0. Natural Resources Conservation Service. U.S. Department of Agriculture.

COBO, L., 1998. Diseño, construcción y evaluación de un Mini-simulador portátil de lluvia para estudios de susceptibilidad a la erosión en laderas. Tesis Universidad Del Valle- Universidad Nacional Palmira, Colombia. p. 30-140.

Amezquita E y Campo J M., 2004. Manual del mini-simulador de lluvia CIAT. Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT, Unidad de Suelos Sección Física de Suelos, Santiago de Cali, Colombia. p 2-25.

MORGAN, R. P. C. (b)., 1986. Modeling soil erosion in: *Soil erosion and conservation*, John Wiley & Sons, New York, Cap. 5.

OYEDELE, D. J., SCHJONNING, P., SIBBESEN, E., DEBOSZ, K., 1999. Aggregation and organic matter fractions of three Nigerian soils as affected by soil disturbance and incorporation of plant material, En: *Soil & tillage research*, Vol. 50, p 105-114.

IBM SPSS Statistics v. 21, disponible en: <http://www.ibm.com/software/es/stats21/> Consultado el 02 de febrero de 2016