



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
FACULTAD DE AGRONOMIA**

Trabajo de graduación

**Evaluación de la erosión hídrica en tres
sistemas de cultivos vegetales en el
municipio de Boaco**

AUTORES

**Br. Norland A. Méndez Zelaya.
Br. Sandra V. Espinoza Ortiz.**

ASESOR

Ing. MSc. Gerardo U. Murillo M.

**Managua, Nicaragua
Noviembre 2008**

DEDICATORIA

En mención principal al dueño de todo: “DIOS”, por amarme, guiarme y cuidarme en cada peldaño que doy. Ya que soy patrimonio y especial tesoro suyo, Malaquías 3:17.

A mis padres Santos Antonio Méndez Zepeda y Ana Francisca Núñez Zelaya, por amarme, educarme y ser los mejores ejemplos a seguir.

A Mis hermanos Belkis Del Carmen Méndez Zelaya y Wilman José Méndez Zelaya por apoyarme y cuidarme siempre.

A mi novia: Sandra V. Espinoza Ortiz, amiga y compañera de tesis, por su apoyo incondicional.

Norland Antonio Méndez Zelaya

DEDICATORIA

Sobre todas las cosas a DIOS porque él es mi TODO en la vida y por darme la sabiduría en todo momento, Proverbios 3:13-15.

A mis padres que son los dos pilares fundamentales en mi vida: José Agustín Espinoza Hurtado y María Asunción Ortiz González.

A mis apreciados hermanos Carlos, Nery, José, Maribel, Felipe, Marcia, Marcos y en especial a mi hermano mayor Marvin Antonio Espinoza Ortiz por el apoyo que han brindado siempre.

A un ángel caído del cielo y segunda Madre que DIOS me dio: María Lourdes Vindell Pineda, porque sin ella no hubiese sido posible culminar mi carrera.

A mi novio y compañero de clase y tesis: Norland Antonio Méndez Zelaya, por haberlo puesto DIOS en mi camino y apoyarme desinteresadamente.

Sandra V. Espinoza Ortiz

AGRADECIMIENTO

Sobre todas las cosas a DIOS que me fortalece y me ayuda a seguir coronando mis metas propuestas.

A mis padres y hermanos por instruirme y apoyarme en cada paso de mi vida.

A mis Familiares que desinteresadamente me ayudaron económica y moralmente.

A mi asesor, MSc. Ing. Gerardo Ulises Murillo Malespín por tenerme confianza y guiarme en mi tesis.

A la familia Sánchez Castillo, por dejarme vivir en su casa durante toda mi carrera.

A la familia Obregón Lanzas y en especial a don Sabino y doña Jilma por tener la confianza de hospedarme en su casa y apoyarnos en nuestra tesis.

A la responsable del laboratorio de física de suelos, Cornelio Palacios quien dedicó el tiempo para enseñarme a procesar los datos y mostrarse como una respetuosa amiga.

Al Ing. José Gabriel López Martínez, Lic. Francis del Rosario Martínez Rodríguez, Lic. Guillermo Ignacio Rodríguez Herradora por tener la vocación de servir, además de proporcionarme la bibliografía necesaria para culminar mi tesis.

Al programa de doctorado SLU y al gobierno de Suecia, por el apoyo financiero brindado a este estudio de tesis.

A toda la vasta gama de inmortales profesores que me educaron y formaron desde mi niñez hasta la culminación de mi amada carrera.

Norland Antonio Méndez Zelaya

AGRADECIMIENTO

Primeramente quiero darle gracias a mi Grande y Eterno Dios Jesucristo, por haberme permitido culminar mis estudios universitarios.

También a mis padres y hermanos que son la más viva inspiración que he tenido para seguir coronando triunfos y ser un persona útil a la sociedad.

A mi tutor y guía en mi tesis: MSc. Ing. Gerardo Murillo Malespín ya que acepto ser mi asesor y deposito su confianza en mi. Además de estar en todo momento que lo necesite.

A María Lourdes Vindell Pineda por desempeñar el papel de madre y tratarme como una hija más. Estuvo, esta y estará siempre en mi corazón como una madre, gracias por ayudarme.

A la familia Obregón Lanzas, con mención especial a los señores Sabino y Jilma, por el apoyo brindado en la etapa de campo de mi estudio de tesis.

A doña Cornelio Palacios, por su gesto amable en la enseñanza de sus conocimientos técnicos del LABSA para procesar las muestras de suelo que fueron elementales para concluir la tesis.

Al Ing. José Gabriel López Martínez, Lic. Francis del Rosario Martínez Rodríguez, Lic. Guillermo Ignacio Rodríguez Herradora por poseer una mística en su trabajo y prestarme sin ninguna restricción la bibliografía necesaria para fortalecer el conocimiento técnico-científico y concluir satisfactoriamente la tesis monográfica.

A la ayuda Sueca y al programa de doctorado de la UNA, por el apoyo económico brindado al desarrollo de toda la tesis.

A una amplia gama de eruditos profesores de la educación primaria, secundaria y universitaria, quienes me formaron como tal y desempeñaron el trabajo más difícil de todos: "La enseñanza".

Sandra V. Espinoza Ortiz

INDICE DE CONTENIDO

General	Página
Índice de contenido	vi
Índice de tablas.....	x
Índice de figuras	xi
Resumen.....	xii
Summary	xiii
I. INTRODUCCION	1
1.1 Objetivo General.....	2
1.2 Objetivos específicos.....	2
II. METODOLOGIA.....	3
2.1 Ubicación y fecha del estudio.....	3
2.1.1 Información de a zona.....	3
a. Geografía	3
b. Clima.....	3
c. Suelo	3
2.1.2 Información del área experimental.....	3
a. Geografía	3
2.2 Diseño metodológico	3
2.3 Manejo del ensayo.....	4

2.3.1 Etapa de Campo	4
a. Pasto	4
b. Frijol.....	4
c. Maíz	4
2.3.2 Etapa de laboratorio	5
2.3.3 Etapa de documentación.....	5
2.4 Datos evaluados.....	5
2.4.1 Levantamiento altimétrico	5
2.4.2 Propiedades físicas y químicas del suelo.....	5
2.4.3 Clasificación taxonómica	6
2.4.4 Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (EUPS).....	6
a. Erosividad de la lluvia (R).....	7
b. Erodabilidad del suelo (K).....	8
c. Longitud de la pendiente (L)	8
d. Gradiente de la pendiente (S).....	9
e. Cobertura vegetal (C)	9
f. Prácticas de conservación del suelo (P)	9
2.4.5 Pérdida de suelo.....	10
a. Procedimiento en el análisis de los sedimentos y el cálculo del movimiento de suelos en las parcelas de erosión.....	10
2.4.6 Pérdida de agua	10
2.5 Análisis de los datos	10
2.5.1 Levantamiento altimétrico	10
2.5.2 Pérdidas de suelo y agua	10
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	11

3.1 Levantamiento Altimétrico.....	11
3.2 Propiedades físicas y químicas del suelo.....	11
3.2.1 Análisis físico.....	11
3.2.2 Análisis químico	12
3.3 Descripción de perfil de suelo en el área experimental.....	12
3.4 Pérdidas de suelo potencial según la Ecuación Universal de Pérdidas de suelo	13
3.4.1 Factores de la ecuación.....	13
a. Factor de erosividad (R).....	13
b. Factor de Erodabilidad del suelo (K)	13
c. Factor longitud y gradiente de la pendiente (LS	14
d. Factor cobertura vegetal (C).....	14
e. Factor de prácticas de conservación de suelos (P).	15
3.4.2 Resultado de las Pérdidas de suelo potencial (EUPS	15
3.5 Pérdidas de suelo real	16
3.5.1 Resultados de pérdida de suelo.....	16
3.5.2 Tolerancia de pérdidas de suelo	17
3.5.3 Comparación entre las pérdidas de suelo reales y las potenciales	18
3.5.4 Efecto del proceso de erosión en la remoción de la fracción del suelo y sus consecuencias	18

3.6 Pérdidas de agua (mm)	20
3.6.1 Resultados de pérdida de agua.....	20
3.6.2 Comportamiento de las precipitaciones en Boaco del año 2007	21
3.6.3 Efecto de las precipitaciones en el proceso de erosión.....	22
3.6.4 Comportamiento del factor Erosividad con EI_{30} , EI_{20} , y EI_{10}	22
3.6.5 Perdidas de suelo en función de la erosividad con un EI_{30}	24
IV. CONCLUSIONES	25
V. RECOMENDACIONES	26
VI. BIBLIOGRAFIA	27

VII. ANEXOS.....	28
Anexo 7.1 Esquema de la distribución de los tratamientos, Boaco 2007	28
Anexo 7.2 Material de trabajo.....	29
Anexo 7.3 Tabla del calculo del factor de Erosividad de una tormenta	30
Anexo 7.4 Nomograma de Wischmeier y Smith.....	31
Anexo 7.5 Tabla de valores del Factor “C”	32
Anexo 7.6 Tabla de valores del factor “C”	33
Anexo 7.7 Factor P de prácticas de conservación de suelos	34
Anexo 7.8 Descripción del perfil de suelo	35
Anexo 7.9 Factor Erosividad de las tormentas en 6 meses de lluvia	36
Anexo 7.10 Factor Erosividad de las tormentas en 6 meses de lluvia	37
Anexo 7.11 Perfiles de las pendientes	38
Anexo 7.12 Perdidas de Suelo Potencial (ton/ha), Boaco 2007	39
Anexo 7.13 Perdidas de Suelo Real (ton/ha) y de Agua (mm), Boaco 2007	40
Anexo 7.13.1 Perdidas de Suelo Real (ton/ha), Boaco 2007.....	40
Anexo 7.13.2 Perdidas de Agua (mm), Boaco 2007	40
Anexo 7.14 Estación Pluviográfica Boaco 2007	41
Anexo 7.15 Estación Pluviográfica Boaco 2007	41

INDICE DE TABLAS

Tablas	Página
1. Métodos para el análisis químico y físico de las muestras de suelo.....	5
2. Resultado de los análisis físicos de suelo de las parcelas de erosión, Boaco 2007	11
3. Resultados químicos de Suelo en las parcelas de erosión, Boaco 2007	12
4. Resultado del índice de erodabilidad y sus factores, Boaco 2007.....	13
5. Factor longitud y gradiente de la pendiente, Boaco 2007	14
6. Significancia para las pérdidas de suelo, Boaco 2007.....	16
7. Clasificación de la erosión del suelo	17
8. Significancia de los tratamientos para perdidas de agua, Boaco 2007.....	20
9. Coeficiente de correlación entre pérdidas reales y el factor R con $E_{30, 20}$ y 10	23

INDICE DE FIGURAS

Figuras	Página
1. Pérdida de suelo potencial en los diferentes tratamientos, Boaco 2007	15
2. Perdida de suelo Real en los tratamientos, Boaco 2007	16
3. Perdida de suelo real versus Perdida potencial, Boaco 2007	18
4. Remoción de la fracción del suelo y su dinámica de cambio, Boaco 2007	19
5. Datos de Perdida de Agua en mm, Boaco 2007	20
6. Comportamiento de las precipitaciones, Boaco 2007	21
7. Pérdida real versus Lamina caída, Boaco 2007.....	22
8. Valor de la erosividad con diferentes EI_{30} , EI_{20} , y EI_{10} , Boaco 2007.	22
9. Perdidas de suelo versus erosividad, Boaco 2007	24

RESUMEN

El estudio se realizó en el municipio de Boaco, Su finalidad fue evaluar las pérdidas de suelo inducidas por la erosión hídrica en tres cultivos vegetales ya que el municipio de Boaco tiene una topografía muy accidentada haciendo los suelos más susceptibles a los procesos de erosión hídrica, por lo que es necesario tener conciencia del problema. Las parcelas de erosión fueron ubicadas en un rango de pendiente entre 20 - 44 % con un suelo del tipo *Typic Argiustol*. Se utilizó la metodología de parcelas de erosión, se establecieron 9 parcelas de las cuales 3 eran de Pasto, 3 de rotación de frijol - maíz con rastrojos y 3 con rotación de frijol - maíz sin rastrojos cultivados en contorno de la pendiente. Las parcelas tienen 50 m de largo y 15 m de ancho, para un área de 750 m². Además se utilizó la ecuación universal de pérdida de suelo (Wischmeier y Smith, 1978), para calcular las pérdidas de suelo potencial. El diseño experimental establecido fue un BCA con 3 tratamientos y 3 repeticiones y las variables en estudio fueron: pérdida de suelo, pérdida de agua, y los factores de la EUPS. El tratamiento pasto presenta la mejor práctica de manejo cuya pérdidas promedio fue de 5.12 ton/ha debido a su permanencia en el campo durante todo el año, seguido del tratamiento rotación con rastrojos con 32.36 ton/ha como promedio y como última opción tratamiento rotación frijol-maíz sin rastrojos porque muestra las mayores pérdidas con un promedio de 38.09 ton/ha. Las pérdidas de suelo son proporcionales a las pérdidas de agua, a mayores precipitaciones tanto mayor pérdida de agua y suelo, por lo tanto las mayores pérdidas de suelo se presentaron en el ciclo de postera que corresponde a los meses de Septiembre y Octubre siendo los meses de mayor intensidad de la lluvia con una lamina de 546.8mm a diferencia de Primera con 369.74mm.

SUMMARY

The study was conducted in the municipality of Boaco, His purpose was to assess the losses induced by soil erosion in three crops and to the town of Boaco has a very rugged topography making the soil more susceptible to water erosion processes, hence the need to be aware of the problem. The plots of erosion were located in an outstanding range of between 20 - 44% with a floor of the type *Typic Argiustol*. Methodology was used for erosion plots; plots were 9 of which 3 were from Pasto, 3 rotations of beans - with corn stubble and 3 with a rotation of beans - without corn stubble grown in contour of the slope. The plots are 50 m long and 15 m wide, to an area of 750 m². At the other is using the universal equation of soil loss (Wischmeier and Smith, 1978), to calculate the potential loss of soil. The experimental design was established a BCA with 3 treatments and 3 repetitions and the variables in the study were: soil loss, loss of water, and the factors of EUPS. The grass treatment offers the best management practice whose losses averaged 5.12 tons / ha due to their stay in the camp throughout the year, followed by treatment with crop rotation with 32.36 tons / ha on average and as a last option treatment bean rotation corn stubble-free because it shows the greatest losses with an average of 38.09 tons / ha. The soil losses are proportional to the losses of water, higher rainfall, the greater loss of water and soil, therefore the greatest loss of soil were presented in the second season that corresponds to the months of September and October being the months higher intensity of the rain with a layer of 546.8mm unlike with First 369.74mm.

I. INTRODUCCION

La erosión hídrica es un problema que ha venido ocasionando la desaparición de horizontes, disminución de la fertilidad de suelo, menor retención de agua, inundaciones, entre otros. Las tormentas son una de las causas principales de pérdidas de suelo y los sistemas de drenaje natural como los ríos son el medio por el cual son llevados anualmente millones de toneladas a lagos o el mar. En los Estados Unidos se habla que 870 millones de toneladas de material en suspensión son llevados anualmente al océano por sus ríos (según Davis citado por Buckman y Brady, 1985), además 63 millones de toneladas de nutrientes vegetales son sustraídos anualmente de los campos cultivados y pastos de fincas de los Estados Unidos (según Bennett citado por Buckman y Brady, 1985).

La erosión se considera la forma más importante de la degradación de suelo en el país; aproximadamente 7.7 millones de hectáreas de territorio nacional presentan grados variables de erosión, 3.6 millones de hectáreas presentan un grado de erosión catalogados de fuertes a severos. Un estudio realizado por el Ministerio de la Construcción y Transporte a lo largo de la carretera que une Managua y las manos; Managua y el Guasaule, revelo que los ríos arrastraron mas de 50 millones de toneladas de suelo, equivalentes a 10 cm de capa arable en 50000 hectáreas de terrenos agrícolas, (PASOLAC, 1999).

Este estudio se realizo en el municipio de Boaco, ya que es una zona con un relieve accidentado y por ende vulnerable a este tipo de erosión. La principal actividad económica de la zona es la ganadería, de la que se desprende gran parte de la riqueza de este departamento, además de la ganadería y el comercio se distingue la agricultura que entre sus principales cultivos esta el frijol y el maíz y por esa razón es necesario saber con que cultivos la erosión afecta menos, para poder tratar así la erosión con un enfoque de conservación, además que este municipio cuenta con una infraestructura y vías de acceso necesarias para aplicar este estudio de tesis.

No existe información de erosión en la zona de estudio siendo este estudio el primero en Boaco, en el año 2006 se realizo una investigación sobre erosión de suelo pero hasta el momento no ha sido publicado.

Se establecieron 3 tratamientos con 3 repeticiones distribuidas en nueve parcelas de erosión. El diseño experimental fue un BCA procesado por el programa estadístico SAS. Solo se evaluó perdida de suelo y agua.

Este estudio servirá como base importante de conocimiento técnico científico a presentes y futuras generaciones de estudiantes, investigadores, productores y todo el personal que lo requiera, además presentamos resultados del grado de degradación que presentan los suelos de Boaco y así poder diseñar estrategias que estén encaminadas a la conservación y preservación del recurso suelo.

El municipio de Boaco tiene suelos del *Typic Argiustol*, una topografía accidentada y con precipitaciones entre los 1200 y 1800 mm/año (INETER 2005), entonces es determinante analizar los factores que dan origen a las pérdidas de suelo y agua.

1.1 OBJETIVO GENERAL

1. Evaluar los factores que influyen en el proceso de erosión hídrica, mediante el uso de parcelas de erosión, bajo los sistemas de cultivo frijol, maíz y pasto, en tierras de laderas en el municipio de Boaco en la estación lluviosa 2007.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Evaluar el efecto de los cultivos frijol, maíz y pasto, sobre las pérdidas de suelo en la estación lluviosa 2007.
2. Comparar las pérdidas de suelo medidas en campo y las pérdidas estimadas por la "EUPS".
3. Analizar el efecto de la escorrentía sobre la remoción de las partículas texturales del suelo.
4. Comparar el grado de asociación entre la erosividad de la lluvia (EI_{30}) y las pérdidas de suelo en campo.

II. METODOLOGIA

2.1 Ubicación y fechas del estudio.

2.1.1. Información de la zona.

a. Geografía. El municipio de Boaco esta ubicado a 89 km. de Managua entre las coordenadas 12° 28' de latitud norte y 85° 40' de longitud oeste, tiene una elevación entre 300 – 500 msnm.

b. Clima. Se caracteriza por tener un clima tropical de sabana con temperaturas entre los 25° y 27° Celsius y su precipitación varia entre los 1200 y 1800 mm/año.

c. Suelo. Presenta suelos Molisoles (INETER, 2005).

2.1.2. Información del área experimental:

a. Geografía. El área experimental se ubica al oeste de la ciudad Boaco, en el barrio la Bombilla que colinda con la parte rural de la ciudad entre las coordenadas 12° 28' 1.667" de latitud norte y 85° 40' 13.33" de longitud oeste y presenta una pendiente entre 20 % y 44 %, sus elevaciones están entre 345 y 374 msnm, (fuente propia).

La investigación realizada se dividen tres etapas; campo, laboratorio y etapa de documentación, iniciando la primera en el mes de Mayo de 2007 culminando en el mes de Enero de 2008 y la segunda inicio en el mes de junio de 2007 y culmino en el mes de diciembre de 2007 y la tercera inicia en Enero de 2008 y concluyo en el mes de agosto de 2008.

2.2 Diseño metodológico

En esta investigación se utilizo la metodología de parcelas de erosión, con un diseño de Bloques completos al Azar que se describe de la siguiente manera:

Se establecieron 3 tratamientos distribuidos en 9 parcelas de erosión, el primer tratamiento fue pasto (Hyparrhenia rufa) con 3 repeticiones, el segundo tratamiento fue rotación de frijol (Phaseolus vulgaris)-Maíz (Zea mays) con rastrojos (Rotación a) con 3 repeticiones, y el tercer tratamiento fue la rotación Frijol-maíz sin rastrojos (Rotación b) con 3 repeticiones. La pendiente oscila entre 20 - 44 por ciento en el área de estudio.

Cada parcela tiene un área de 50 m de largo en dirección a la pendiente dominante que muestra el terreno y 15 m de ancho perpendicular a la pendiente, la unidad experimental es cada parcela y tiene 750 m², el contorno de las parcela se cubrió con plástico enterrado a 15 cm con el fin de evitar la entrada o salida de sedimentos y en la parte inferior de la parcela esta un canal plástico pvc colector que conecta a dos tanques plásticos los que al final reciben los sedimentos en cada evento lluvioso. Véase anexo 7.1.

La recolección de muestras se dio después de cada evento lluvioso sacando del tanque la cantidad de 1 litro de sedimentos totalmente codificado con su fecha, parcela y número de tanque.

Cada tanque tiene una altura útil de 100 cm con el fin de calcular el volumen de los sedimentos sabiendo que el área de cada tanque era de 7238 cm². Estas muestras fueron llevadas al laboratorio de suelos y agua de la UNA para realizarles sus respectivos análisis.

2.3 Manejo del ensayo.

El experimento se realizó en condiciones naturales, se dividen tres etapas; campo, laboratorio y etapa de documentación.

2.3.1 Etapa de Campo. Dentro del manejo agronómico de los cultivos en estudio tenemos:

a. Pasto: Se cultivo pasto jaragua, este tratamiento no se le dio ningún tipo de asistencia puesto que el objetivo del experimento es evaluar el efecto de la cubierta del pasto sobre las pérdidas de suelo. Este cultivo estuvo presente en el campo durante todo el año.

b. Frijol: La variedad sembrada fue INTA ROJO, sembrado en la primera semana de junio 2007, se le fertilizo una sola vez a los 22 dds utilizando completo triple 15, se le aplico tres fumigaciones a los 8-15-30 dds, se deshierbo dos veces a los 15-30 dds. La cosecha se realizó en la última semana de agosto.

c. Maíz: La variedad sembrada fue NB6, sembrado en la segunda semana de septiembre 2007 pero al no nacer se resembró a la semana después, se le aplico fertilizante una sola vez a los 22 dds, le ataco una plaga del cogollero aplicándole un insecticida llamado Tamaron, al igual que el frijol se deshierbo dos veces a los 20-40 dds.

Véase anexo 7.2. Lista de materiales utilizados.

En esta etapa se establecieron las parcelas de erosión, y se diseñó el experimento, como se trataba de la continuidad de otros estudios de tesis las parcelas ya estaban establecidas y lo que se realizó fue la instalación del plástico, canales y tanques. La otra actividad fue el monitoreo o recolección de muestras, la cual se realizó frecuentemente una 6 horas después de ocurrida la lluvia. La muestra de 1 litro de (agua + sedimento) se recolectaba de cada barril colector, que presenta una área de 7238 cm². Estas muestras fueron transportadas cada 3 días al laboratorio de la UNA, en Managua. Para esta toma el agua se homogenizó para obtener una proporción equitativa de las partículas de suelo. Luego basado en el área de la parcela de erosión (750 m²), se extrapolaba el dato correspondiente a una hectárea.

Finalmente se realizó el mantenimiento de los canales, plástico y taque. Actividad que se realizó después de la recolección de las muestras, y donde se procedía a revisar las parcelas en general a fin de mejorar o restablecer algunos daños que sufrieran los canales, tanques y el plástico con el propósito de mantener las condiciones controladas del manejo de cada una de ellas esperando el nuevo evento y obtener datos del proceso erosivo de forma confiables.

2.3.2 Etapa de laboratorio. En el laboratorio las muestras fueron sometidas a los análisis gravimétricos para determinar cantidad de suelo (g), separación de fracciones texturales (arena %, limo % y arcilla %), densidad aparente (g/cm^3), humedad (%), y análisis químicos para determinar contenido de macro nutrientes, materia orgánica (%), CIC, CE, y pH.

2.3.3 Etapa de documentación. En esta etapa se analizó la información y se consultaron bibliografías afines al tema, y se redactó el escrito del documento, fue la última etapa de nuestra tesis.

2.4 Datos evaluados

2.4.1 Levantamiento altimétrico. Se realizó un levantamiento altimétrico haciendo uso del nivel de ingeniero marca Kern Swiss, modelo GKO con un margen de error ± 7 mm, Se definió el Banco de nivel con un GPSMAP 76 C marca Garmin con un margen de error ± 3 m.

Con el nivel de ingeniero se tomaron puntos cada 5 m de ancho por 5 m de largo con el propósito de reflejar el micro relieve (perfil) de cada una de las parcelas en estudio, véase anexo 7.10. Los datos obtenidos fueron la materia prima para calcular la pendiente, elevaciones, y su perfil, así como, analizar la redistribución de los sedimentos a lo largo de la pendiente ocasionado por las irregularidades naturales del terreno y su constante cambio de dirección de la pendiente misma.

2.4.2 Propiedades físicas y químicas del suelo. Se procedió a sacar muestras de suelo con un barreno a una profundidad de 20 cm. Se sacaron 3 muestras por parcela, en la parte alta, media y baja. El número de parcelas es 9 para un total de 27 muestras que luego fueron llevadas al laboratorio de la Universidad Nacional Agraria (UNA) donde se le realizaron sus respectivos análisis.

Tabla 1. Métodos para el análisis químico y físico de las muestras de suelo

Procedimiento	Método	Descrito por
Densidad aparente	Método del cilindro	(Coile,1936)
% de humedad	Suelo secado en el horno	Proceso utilizado en LABSA
Textura	Pipeta de Robinsón	(kilmer y Alexander, 1949)
Materia orgánica	walkley-back	(walkley-black, 1934)
Nitrógeno total	digestión kjeldahl	(Bremner y Mulvaney, 1982)
Fósforo disponible	Olsen modificado	(Thien y Myers, 1992)
Potasio disponible	Olsen modificado	(Thien y Myers, 1992)
Micro nutriente (hierro, cobre, manganeso y zinc)	Olsen modificado	(Thien y Myers, 1992)
Macro nutrientes (K, Ca, Mg, Na)	Walkley-Back	(Nelson y Sommers, 1996)
Bases intercambiables	Extracción en acetato de amonio 1N, pH 7	(IGAC, 1973)
Capacidad de intercambio Catiónico	Extracción en acetato de amonio 1N, pH 7	(IGAC, 1973)

2.4.3 Clasificación taxonómica. Se tomo la información proporcionada por el Ing. Ignacio Rodríguez quien realizo la descripción de un perfil de suelo en Enero de 2007, ubicada en un área representativa de toda el área de estudio y utilizó la guía de la FAO 1977 para la descripción de los horizontes diagnóstico del perfil en estudio así como, la recolección de muestras de suelo desde la parte inferior del perfil hasta su parte superior a fin de evitar cualquier contaminación de la muestras recolectada. Las dimensiones del perfil fueron de 140 cm de profundidad por 100 cm de ancho y 100 cm de largo. Cada muestra fue debidamente rotulada para que fueran ingresadas al laboratorio para su respectivo análisis físico y químico.

Para el análisis físico se solicitó la separación de la partículas del suelo mediante el método de la pipeta de Robinson y se obtuviera las fracción del suelo arena (2-0.05mm), limo (0.05-0.002 mm) y arcilla (<0.002 mm) y análisis químico N, P, K, Ca, Mg, CIC, SB.

La calicata es una técnica que se utiliza para determinar las propiedades Físicas del suelo en estudio así como la profundidad de sus horizontes.

2.4.4 Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (EUPS). La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) esta diseñada para determinar las pérdidas potenciales en un lugar determinado. Según Wischmeier y Smith citado por Núñez (2001), la ecuación es un diseño estadístico de regresión múltiple para cinco factores que los investigadores definieron como responsables del proceso de erosión hídrica: clima, suelo, pendiente, cobertura vegetal y prácticas de manejo.

Es la ecuación más aceptada en la actualidad, y esta predice las pérdidas de suelo debido a procesos erosivos, especialmente de origen hídrico. La EUPS también esta adaptada para la estimación de pérdidas de suelo en otros países, según se explica a lo largo de la descripción de los elementos de la ecuación (Kirkby y Morgan, 1984). Y se define matemáticamente de la siguiente forma:

$$A = R * K * L * S * C * P$$

Donde:

A: Pérdida de suelo producto de la erosión. (Ton/ha)

R: Factor asociado a la Erosividad de la lluvia. (MJ mm / ha h)

K: Factor asociado a la Erodabilidad del suelo. (Ton ha h/ MJ ha mm)

L: Factor asociada a la longitud de la pendiente. (Adimensional)

S: Factor asociado a la gradiente de la pendiente. (Adimensional)

C: Factor involucrado en la cobertura vegetal. (Adimensional)

P: Factor relacionado con las prácticas de conservación de suelos. (Adimensional)

- a. **Erosividad de la lluvia(R):** Determinado por la cantidad, duración e intensidad de cada tormenta y se calcula para un período dado. Erosividad de la lluvia es la capacidad que tiene cada evento de causar erosión o dicho de otra manera es la agresividad de la lluvia y que es capaz de desprender, transportar y depositar sedimentos.

Para el calculo de la erosividad de la lluvia en el área de estudio se utilizó un pluviógrafo de registro de cinta el que registraba la laminada de agua caída en unidad de tiempo, posteriormente se procedió a realizar los cálculos de intensidad de la lluvia por lamina precipitada, calculando el factor de erosividad solamente para tormentas capaces de causar erosión de lo contrario no se incluían en el estudio.

La formula general propuesta por Wischmeier y Smith 1978 es:

$$R = \sum_{j=1}^n (E * I)^j$$

Donde:

R= Erosividad de la tormenta o evento pluvial.

j=1= Primer tormenta en el registro anual de tormentas.

n= Numero de tormentas durante el periodo evaluado.

∑= Sumatoria de todos los eventos de lluvia o tormentas evaluadas.

E= Energía total de la tormenta.

I= Intensidad máxima de la lluvia en 30 minutos.

J= Estadísticamente denominada jotaésimo: último evento de todos los eventos de tormentas analizadas durante un periodo de tiempo, generalmente anual.

Nota: Esta formula se utiliza para calcular el factor "R", pero en nuestro estudio no se utiliza la formula porque el valor "R" es calculado para cada tormenta que era capaz de causar erosión.

La energía cinética de cada tormenta se calculo con la formula propuesta por Wischmeier y Smith citado por Núñez (2001):

$$e = 0.119 + (0.0873 * \log_{10} I)$$

Donde:

I = Intensidad de la lluvia en milímetros por hora (mm/h)

e = Energía cinética para cada lectura en el pluviógrafo (10 minutos)

Log₁₀ = Logaritmo en base 10.

En cada evento lluvioso que era capaz de producir escorrentía se calculaba una intensidad máxima para 30 minutos y se ingresaba a la formula y esta a su vez nos daba la Erosividad para cada tormenta. La unidades de medida son Mega joule por milímetro entre hectárea por hora (MJ mm/ha h). Véase anexo 7.3.

- b. Erodabilidad del suelo (K):** Indica la susceptibilidad del suelo a ser erodado por propiedades intrínsecas ligadas a la textura (porcentaje de arena fina, porcentaje de limo + arena), contenido de materia orgánica, permeabilidad y su estructura. Es la resistencia que ofrece el suelo a ser erodado.

En cuanto a la obtención del valor de erodabilidad del suelo se tomaron muestras de suelos a una profundidad de 0 – 20 cm, tanto en la parte alta, media y baja de cada una de las parcelas de erosión y se procedió a nivel de laboratorio, la obtención de los factores de textura (arena fina, arena muy fina, arena gruesa, limo y arcilla, Materia orgánica, estructura del suelo a nivel de campo y la permeabilidad. Una vez obtenido cada uno de los valores se procedió a utilizar la metodología de la EUPS en la cual detalla cada uno de los factores a utilizar para implementar el nomograma de Wischmeier, 1978

El factor K depende de cinco parámetros:

- El porcentaje de limo, con diámetros entre 0.002 – 0.05 mm, mas el porcentaje de arena muy fina de 0.05 – 0.10 mm de diámetro.
- El porcentaje de arena gruesa de 0.10 - 2.0 mm de diámetro.
- El porcentaje de materia orgánica (%).
- La estructura del suelo, está caracterizada en los siguientes términos:
 - Granular muy fina.
 - Granular fina.
 - Granular media o gruesa.
 - Se agregan las estructuras en bloque y laminar. Se incluye en este tipo la condición masiva, que es, en realidad, ausencia de estructura o de desarrollo estructural en el suelo o perfil estudiado.
- La permeabilidad de suelo:
 - Rápida.
 - Moderada a rápida.
 - Moderada.
 - Lenta a moderada.
 - Lenta.
 - Muy lenta.

Véase anexo 7.4. Nomograma de Wischmeier, 1978

- C. Longitud de la pendiente (L):** Es uno de los factores más importantes ya que asumimos que a mayor longitud de la pendiente tanto mayor será la vulnerabilidad del suelo a sufrir erosión. Para el presente análisis se utilizó la longitud de las parcelas de erosión y se procedió a utilizar la ecuación propuesta por Wischmeier en la EUPS.

$$L = \left(\frac{x}{22.13} \right)^m$$

Donde:

L = Factor longitud de la pendiente.

x = Longitud de la pendiente en metros.

m = Exponente que depende del porcentaje de la pendiente.

Los valores del exponente m son:

m = 0.5 si la pendiente es mayor o igual a 5 %.

m = 0.4 si la pendiente es mayor que 3 y menor que 5%.

m = 0.3 si la pendiente es mayor que 1 y menor que 3%.

m = 0.2 si la pendiente es menor que 1%.

- d. **Gradiente de la pendiente (S)** Se Expresa en porcentaje y de igual manera que la longitud a mayor grado de gradiente mayor será la pérdida de suelo potencial. También se le conoce con el nombre de pendiente. A nivel de campo se utilizó el levantamiento altimétrico y se determino la pendiente promedio de cada una de las parcelas de erosión, con esta información básica se procedió a implementar la siguiente ecuación propuesta el la EUPS.

$$S = (0.065 + 0.045s + 0.0065s^2).$$

Donde:

S = Factor gradiente de la pendiente.

s = Gradiente en porcentaje.

Nota: Los factores L y S, en ocasiones sobreestima la perdida de suelo en pendientes cóncavas y la subestiman pendientes convexas.

- e. **Cobertura vegetal (C):** Está en función del manejo que se realiza en los cultivos, áreas de ganadería, áreas forestales o de regeneración natural, propias de una zona. Depende también del porcentaje de cubierta vegetal que la planta tiene. Para nuestro investigación utilizamos los valores propuestos por Millar and Donahue, 1990. Véase tabla anexa 7.5. - 7.6.
- f. **Prácticas de conservación de suelos (P):** Se estableció la práctica de conservación al espeque, perpendicular a la pendiente, como cultivo en contorno tanto para el cultivo del maíz como frijón y para el pasto (cultivo permanente) ningún método. Por lo tanto tomamos los valores propuesto por Wischmeier y Smith 1984. Véase anexo 7.7.

2.4.5 Pérdidas de suelo.

- a. Procedimiento en el análisis de los sedimentos y el cálculo del movimiento de suelos en las parcelas de erosión.** Después de cada evento lluvioso se colectaba una muestra de 1 litro de agua homogenizada con anticipación y luego era llevada al laboratorio de suelos y agua (LABSA) de la UNA.

En el LABSA se pesaba cada Beaker, después la muestra + Beaker y se ingresado en un horno a 105° C y dos días después de sacada la muestra se pesaba para obtener el resultado de sedimento removido en el proceso erosivo.

Las muestras eran pesadas en una balanza electrónica Adventurer SL AS214 con 0.0001 g de precisión, y toda muestra mayor de 10g se procedió a realizar el estudio granulométrico (textura) de los sedimentos removidos por el método de la pipeta de Robinson, con el fin de determinar cuál de las partículas de suelo se estaba perdiendo en mayores cantidades y conocer su clase textural.

2.4.6 Pérdidas de Agua: Para el caso de las pérdidas de agua ya se mencionó anteriormente la forma de cómo se obtiene las pérdidas de suelo, puesto que la pérdida de agua se deriva de la alícuota.

2.5 Análisis de los datos.

2.5.1 Levantamiento altimétrico. Se realizó una descripción de las pendientes (curvatura, cambio de pendiente en tramos de cada 5 metros) mediante el uso de un estudio de altimetría, y muestreo de suelo a fin de conocer algunas características importantes del suelo que influyen en el proceso erosivo. Se procesaron con el programa Surfer versión 7.

2.5.2 Pérdidas de Suelo y Agua: Para el análisis de los resultados de pérdidas de suelo y agua se utilizó la metodología del diseño de Bloques completos al Azar (BCA). Donde la unidad experimental es la parcela de erosión, con tres tratamientos: Pasto, Rotación con rastrojos y rotación sin rastrojos con tres repeticiones cada uno. El procesamiento de los datos se realizó con el programa estadístico SAS.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Levantamiento altimétrico

Al realizar el estudio altimétrico se obtuvieron datos para el estudio, como son el porcentaje de pendiente en las 9 parcelas y la forma de la misma. En la tabla 5 de longitud y gradiente de la pendiente se presenta el porcentaje de pendiente en cada parcela.

3.2 Propiedades físicas y químicas del suelo

3.2.1 Análisis físico. El análisis demuestra que la fracción de arcilla predomina en todo el área de estudio en rango del 35 % al 56 % seguido del limo y arena por lo que su clase textural lo ubica en un suelo arcilloso, a su vez la densidad aparente oscila entre 1.1 g/cm³ a 1.3 g/cm³ con una moderada resistencia debido a la abundancia de la fracción de arcilla a pesar que la presencia del materia orgánica oscila entre los 3.4 y 4 % considerándose como alta. Sin embargo, la abundancia de la fracción arcillosa hace suponer que su drenaje es lento y como consecuencia la presencia de escurrimiento superficial sería considerable con estas características. Así como, también la presencia de grietas en la superficie la cual podría reducir el escurrimiento (Véase Tabla 2.)

Tabla 2. Resultado de los análisis físicos de suelo de las parcelas de erosión, Boaco 2007

Descripción	Arena % (2-0.05mm)	Limo % (0.05-0.002mm)	Arcilla % (<0.002mm)	Materia Orgánica (%)	Densidad aparente (g/cm ³)	Humedad (%)
Btp_r1	27.761	36.283	35.960	3.482	1.295	33.587
Btp_r2	25.188	32.060	42.753	4.084	1.254	35.161
Btp_r3	12.765	30.593	56.647	3.520	1.152	43.875
Bta_r1	25.777	30.460	43.760	3.420	1.358	28.931
Bta_r2	24.141	34.333	40.863	3.933	1.312	28.661
Bta_r3	17.408	25.907	56.680	3.625	1.167	42.544
Btb_r1	22.215	32.080	45.707	3.922	1.324	32.049
Btb_r2	19.368	27.233	53.097	3.416	1.175	40.911
Btb_r3	13.021	31.820	55.163	3.810	1.221	37.594

Fuente propia.

El significado de los códigos presentados en la descripción es:

B: Boaco, **t:** tratamiento, **P:** Pasto, **ra:** Rotación frijol-maíz con rastrojos, **rb:** rotación frijol-maíz sin rastrojos, **r1, r2 y r3:** número de repeticiones.

3.2.2. Análisis químico. Los resultados químicos nos permiten reconocer que cada uno de los elementos minerales se encuentran concentrados entre medio y alto en el suelo por lo que este suelo goza de un adecuado nivel de fertilidad, con un pH ligeramente ácido, con una capacidad de intercambio Catiónico alta esto debido a la abundancia de arcilla en el suelo, con una cierta diferencia entre el potasio disponible (K) y el potasio total (K) en el suelo ya que el potasio disponible es el que se encuentra en la solución del suelo muy próximo al área de absorción por el sistema radicular de la planta. En cambio el potasio total es el que se encuentra entre la doble capa difusa en el coloide de la arcilla.

Tabla 3. Resultados químicos de Suelo en las parcelas de erosión, Boaco, 2007

Descripción	Rutina						Bases				
	pH	C.O	N	P.DISP.	CE	K. DISP.	K	Ca	Mg	Na	CIC
	H ₂ O	%		ppm	μS/cm.	me/100 g suelo					
Btp_r1	6.77	1.69	0.18	1.87	45.6	0.16	0.41	27.27	5.1	0.13	45.67
Btp_r2	6.86	2.19	0.19	8.82	48	0.66	1.34	27.41	4.8	0.29	49.65
Btp_r3	6.38	2.02	0.17	8.08	51.4	0.51	1.64	40.81	5.43	0.34	68.87
Bta_r1	6.68	1.76	0.15	2.87	46.27	0.23	0.58	29.23	4.71	0.16	49.03
Bta_r2	7.04	2.16	0.19	7.25	57.13	0.89	1.65	30.46	4.65	0.11	48.5
Bta_r3	6.2	2.73	0.24	5.09	41.4	0.37	0.84	41.59	4.7	0.25	71.84
Btb_r1	6.67	1.91	0.17	3.48	48.33	0.32	0.65	29.69	4.83	0.2	49.21
Btb_r2	6.18	2.99	0.26	4.56	42.13	0.35	1.05	25.76	5.15	0.5	61.41
Btb_r3	6.26	2.2	0.19	3.65	43.63	0.46	1.14	29.83	4.36	0.27	52.24

Fuente propia.

3.3. Descripción de perfil de suelo en el área experimental.

El perfil de suelo se realizó a una profundidad de 1.06 m y demuestra que existen cuatro horizontes (A, Bt, C1 y C2) los dos primeros con textura arcillosa y los dos restantes son Franco Arcillo arenosos. El suelo es de tipo *Typic Argiustol* y su pendiente se encuentra entre los 15 – 30 % por lo que se considera una limitante, tiene una estructura de bloques, un drenaje lento, por lo tanto es considerado de clase VI limitado por el relieve, y la capacidad de uso de la tierra es para cultivos perenne y forestal. El suelo está bien utilizado porque el cultivo actual es pasto pero cuando se cultiva frijol o maíz sucede lo contrario y se sobre utiliza lo que aumenta el riesgo de erosión. Aunque su potencial es para cultivos perennes y forestales una buena alternativa será un sistema ganadero forestal (SGF). Véase anexo 7.8.

3.4 Pérdidas de suelo potencial según la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo.

3.4.1. Factores de la Ecuación. A continuación se presentan los resultados de cada factor.

- a. **Factor de Erosividad (R).** Las pérdidas potenciales al igual que las reales se calcularon por cada día, siempre que se presentara un evento erosivo. Por lo que el valor “R” es diferente para cada tormenta, y no se realizó para cada año como usualmente se determina porque los tratamientos se encuentran distribuidos tanto en el ciclo de primera como en postrera, al final se presentaron 81 eventos erosivos. En los anexos 7.9. Y 7.10. Se muestran los resultados de las lluvias erosivas y el factor de Erosividad para cada una de ellas.

- b. **Factor de Erodabilidad del suelo (K).** El valor de Erodabilidad se obtuvo comparando o siguiendo los pasos en el Nomograma de Wischmeier, 1978 el que dio como resultado 9 valores para cada uno de los tratamientos con sus repeticiones distribuidas en las nueve parcelas en estudio, los valores oscilan entre 0.14 – 0.21 ton ha hrs / MJ ha mm.

Tabla 4. Resultado del índice de erodabilidad y sus factores, Boaco 2007

Descripción	Limo + Arena Muy Fina %	Arena Gruesa (%)	Materia Orgánica (%)	Estructura	Permeabilidad	K (ton ha h / MJ ha mm)
Btp_r1	40	23	3	4	3	0.21
Btp_r2	35	21	4	4	3	0.18
Btp_r3	32	10	3	4	3	0.15
Bta_r1	34	21	3	4	3	0.20
Bta_r2	38	20	3	4	3	0.19
Bta_r3	27	14	3	4	3	0.14
Btb_r1	35	17	3	4	3	0.17
Btb_r2	29	17	3	4	3	0.14
Btb_r3	33	11	3	4	3	0.15

Fuente propia.

Los valores de erodabilidad nos permiten reconocer el grado de tolerancia que presenta el suelo, ante los efectos erosivos de la lluvia, cuyo valores van de 0.14 – 0.21 **ton ha h / MJ ha mm** esto debido a que la arcilla juega un papel importante por sus características de adhesión y cohesión, aumentando así su resistencia a ser dispersa por la gota de lluvia, y por lo tanto de ser transportada por el escurrimiento superficial de su lugar de origen a otro distante que para nuestro caso son los depósitos.

También no podemos descartar el grado de influencia que muestra la materia orgánica como un elemento cementante de las fracciones del suelo y más aun cuando su presencia es alta con valores que oscilan entre los 3 y 4 % en el área de estudio lo cual aumenta la resistencia a ser removida la partícula del suelo.

- c. **Factor longitud y gradiente de la pendiente (LS).** Es el resultado de una formula que une tanto la longitud así como la gradiente de la pendiente. Los valores de LS oscilan entre 5.36 – 21.99 (Tabla 5).

Tabla 5. Factor longitud y gradiente de la pendiente, Boaco 2007

Descripción	Factores						
	Pendiente (%)	Long. EUPS (m)	Long.de parcela (m)	Valor "m"	Factor (L)	Factor (S)	Factor (L*S)
Btp_r1	44	22.13	50	0.5	1.50	14.63	21.99
Btp_r2	32	22.13	50	0.5	1.50	8.16	12.27
Btp_r3	21	22.13	50	0.5	1.50	3.88	5.83
Bta_r1	41	22.13	50	0.5	1.50	12.84	19.30
Bta_r2	36	22.13	50	0.5	1.50	10.11	15.20
Bta_r3	20	22.13	50	0.5	1.50	3.57	5.36
Btb_r1	38	22.13	50	0.5	1.50	11.16	16.78
Btb_r2	25	22.13	50	0.5	1.50	5.25	7.90
Btb_r3	22	22.13	50	0.5	1.50	4.20	6.32

Fuente propia

Los resultados de longitud y el gradiente tiene una tendencia decreciente desde la parcela uno hasta la nueve, los resultados de pérdida de suelo serán mayores en las primeras parcelas porque al caer la lluvia estas parcelas tendrá menor tiempo para infiltrar el agua a capas más profundas por lo tanto se producirá más rápidamente el escurrimiento superficial en volumen y un incremento en la velocidad debido al factor pendiente y el gradiente mismo, que cuya disminución o aumento tendrá gran relevancia en las irregularidades que presente la pendiente en cuanto a su curvatura. Véase anexo 7.10.

- d. **Factor cobertura vegetal (C).** Para el valor de "C" tendremos tres valores diferentes ya que tenemos tres cultivos con diferentes coberturas, tomando los valores de Millar and Donahue, 1990 tendremos:

Frijol: 0.4

Maíz: 0.65

Pasto: 0.04

Véase anexo 7.5. y 7.6.

- e. **Factor de prácticas de conservación de suelos (P).** Al igual que el factor anterior se tendrán valores diferentes y tomamos del cuadro de Wischmeier y Smith, 1978 citado por Kirkby y Morgan, 1984 y tenemos:

Frijol0.45
 Maíz.....0.45
 Pasto.....1

Nota: Para los cultivos frijol y maíz el valor es 0.45 porque se sembraron al contorno de la pendiente y en el caso del pasto el valor es 1 ya que no se aplico ninguna práctica de conservación de suelos, véase anexo 7.7.

3.4.2. Resultado de las Pérdidas de suelo potencial (EUPS). Los valores se presentan en la figura siguiente:

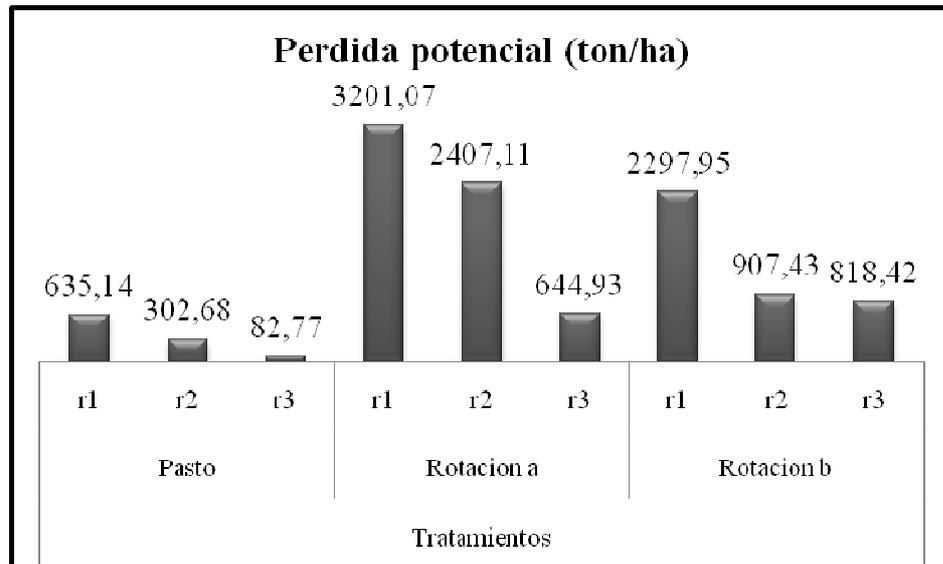


Figura 1. Pérdida de suelo potencial en los diferentes tratamientos, Boaco 2007.

El significado de la nomenclatura utilizada en la figura 1 es la siguiente:

Pasto: tratamiento Pasto.

Rotación a: Tratamiento rotación frijol-maíz con rastrojos.

Rotación b: Tratamiento rotación frijol-maíz sin rastrojos.

r1, r2 y r3: son el número de repeticiones por cada tratamiento.

La figura 1 muestra claramente que el tratamiento rotación a es el que presenta las mayores pérdidas potenciales, seguido del tratamiento rotación b y en último lugar el tratamiento pasto quien refleja las menores pérdidas potenciales, esto porque es el cultivo que presenta una cobertura vegetal muy densa evitando así que la lluvia impacte directamente sobre la corteza del suelo, desprendiendo, transporte y deposite en lugares donde no será aprovechada. Ver valores completos en Anexo 7.12.

3.5 Pérdidas de suelo real.

3.5.1 Resultados de pérdida de suelo. Para el caso de las pérdidas de suelo se realizo un BCA con 3 tratamientos y 3 repeticiones y el ANDEVA realizado muestra lo siguiente:

Tabla 6. Significancia para las pérdidas de suelo, Boaco 2007

Fuente de Variación	G.L Numerador	G.L Denominador	Fc	Pr>F
Bloques	2	4	0.33 N.S.	0.7385
Tratamientos	2	4	2.71 N.S.	0.1805
Mes	5	30	12.72 **	<0.0001
Trt. * Mes	10	30	2.63 N.S.	0.0196

Fuente propia.

El análisis estadístico demuestra que no existen diferencias significativas entre bloques, tratamientos, ni en la interacción Trt*Meses, pero en los Meses si existen diferencias significativas con una probabilidad muy alta. O sea que al menos un par de meses inducen a producir pérdidas de suelo diferentes.

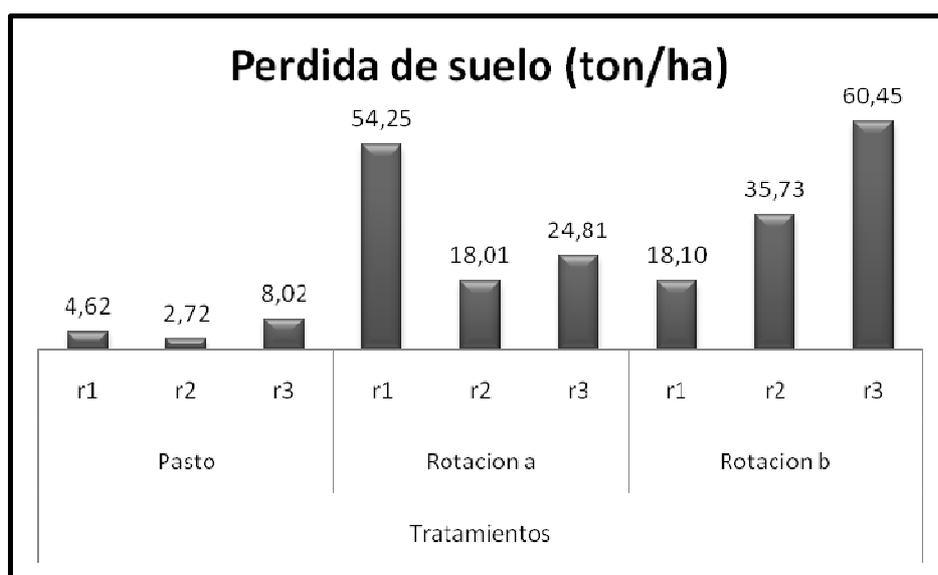


Figura 2. Perdida de suelo Real en los tratamientos, Boaco 2007.

La figura 2. muestra que el tratamiento Rotación frijol-maíz sin rastrojos (Rotación b) es el que mas perdidas de suelo presenta con un promedio de 38.44 ton/ha/año causado principalmente porque este tratamiento no tenia ningún rastrojo o restos de vegetales que protegieran al suelo dejándolo así mas susceptible a procesos erosivos, seguido y muy cerca por el tratamiento rotación frijol-maíz con rastrojos (Rotación a) con 32.36 ton/ha/año de promedio obteniendo perdidas casi iguales al tratamiento anterior y en ultimo lugar y mostrando las menores perdidas de suelo esta el tratamiento Pasto con 5.12 ton/ha/año, este tratamiento presenta las menores perdidas porque la cubierta vegetal es muy densa o tupida contribuyendo a proteger el suelo y aumentando así su resistencia a ser erosionado. Los datos completos de perdidas de suelo real están en el anexo 7.13.1.

3.5.2. Tolerancia de pérdidas de suelo. Es la cantidad de sedimentos que un determinado suelo puede perder sin que afecte su fertilidad y producción. Representa el grado de degradación que tiene un determinado suelo. La FAO, 1980 creo una tabla que permite saber que tan degradado se encuentra el suelo en estudio

Tabla 7. Clasificación de la erosión del suelo

Categorías	Pérdidas de suelo	
	Ton/ha/año	mm/ha
Ninguna a ligera	< 10	< 0.6
Moderada	10 – 50	0.6 – 3.3
Alta	50 – 200	3.3 – 13.3
Muy alta	> 200	> 13.3

Fuente: FAO, 1980

Las pérdidas promedios en los 3 tratamientos con sus 3 repeticiones fueron de 25.19 ton/ha logrando una erosión moderada indicando que la cantidad de suelo perdido se encuentra entre el rango de tolerancia. La densidad aparente del suelo en estudio es de 1.3 ton/m³ por lo que las 12.65 ton/ha equivalen a 1.94 mm de profundidad, como promedio 1 mm de suelo tarda 30 años en formarse, por lo tanto el horizonte tardará 58 años en recuperarse, indicando así que lo que perdemos en 1 año lo estaremos recuperando dentro de 58 años y si además agregamos que el primer horizonte del perfil del suelo es de 33 cm de grosor, entonces este horizonte desaparecerá en un período de tiempo de 165 años, siempre y cuando se mantenga esa tasa de perdida anual.

3.5.3. Comparación entre la pérdida de suelo real y la potencial. Las comparaciones se explicaran para cada tratamiento con sus tres repeticiones.

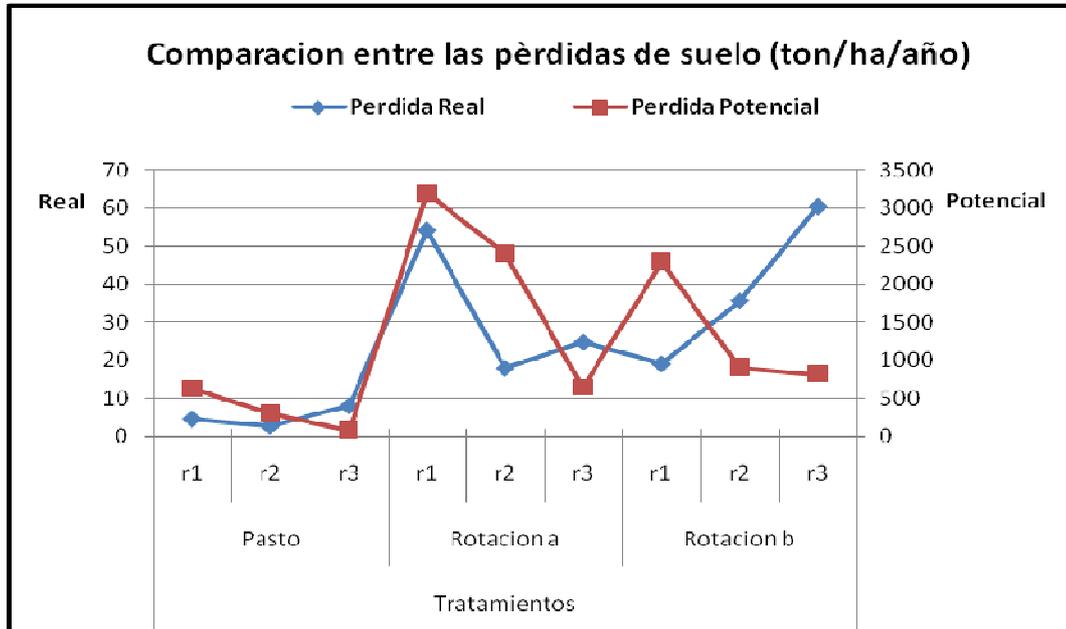


Figura 3. Perdida de suelo real versus Perdida potencial, Boaco 2007.

Al comparar las perdidas reales con las potenciales se observa que existe una diferencia muy considerable entre ambas, se observa por ejemplo que la perdida real tiene como promedio en los tres tratamientos de 1255.39 ton/ha/año en cambio en las perdidas reales el promedio es de 25.31 ton/ha/año, por lo que la perdida potencial sobre estima a la perdida real en **49** veces. Por otro lado el coeficiente de correlación entre ambas es de 42% lo que se considera como bajo. Como la perdida potencial se calcula de manera empírica esta se presta a errores que posteriormente se observa en los resultados.

3.6.4 Efecto del proceso de erosión en la remoción de la fracción del suelo y sus consecuencias. La clase textural del suelo esta compuesto por 3 elementos principales: arena, limo y arcilla lo que comúnmente llamamos composición granulométrica del suelo, y esta expresada en porcentaje (%). En la figura 5 se observa cual de las partículas se pierde en mayor cantidad en todo el periodo lluvioso.

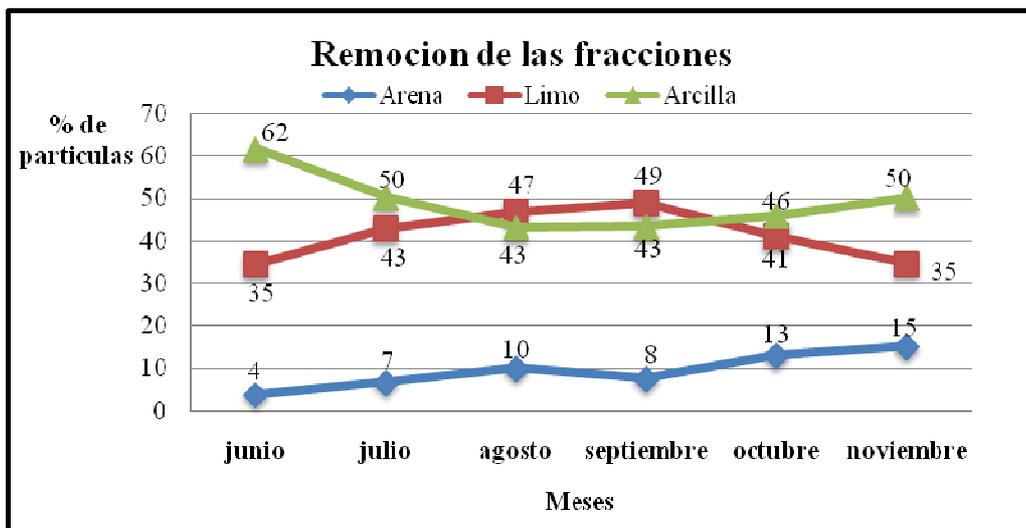


Figura 4. Remoción de la fracción del suelo y su dinámica de cambio, Boaco 2007.

Se observa claramente que la partícula que mas se pierde es la arcilla desde el primer monitoreo que presenta un valor de 62 % hasta llegar a mostrar valores de 50 en el últimos monitoreo seguido del limo y la arena en menor remoción debido al mayor peso específico que ella presenta por su mayor tamaño, lo que necesitaría mayor velocidad y volumen del escurrimiento para transportarla, aunque en los meses de agosto y septiembre la partícula que más se pierde es el limo con una diferencia mínima respecto a la arcilla.

La **arcilla** está constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratado, procedentes de la descomposición de minerales de aluminio, además las partículas de arcilla son esenciales para la retención de aniones y cationes. Los suelos arcillosos contienen alta fertilidad, alto intercambio Catiónico, alta humedad, entre otros. La figura 5 también nos hace suponer que el proceso de erosión o sedimentación, conduce a la reducción de la fertilidad ocasionado por la remoción de dos fracciones importante como es la arcilla y el limo. Especialmente la arcilla que debido a su naturaleza de poseer cargas negativa lleva consigo una cantidad de minerales adherido a su periferia ocasionando una reducción a través del tiempo de la fertilidad del suelo y como consecuencia en un aumento en los costo de producción por parte de los agricultores que trataran de mantener los mismos rendimiento pero con un mayor costo de producción, el que en el presente estudio no fue evaluado ya que también requiere de otras factores que no son recogidos dentro del tema de estudio.

3.6. Pérdidas de agua (mm)

3.6.1. Resultados de pérdidas de agua.

Tabla 8. Significancia de los tratamientos para pérdidas de agua, Boaco 2007

Fuente de Variación	G.L Numerador	G.L Denominador	Fc	Pr>F
Bloques	2	4	0.59	0.5965
Tratamientos	2	4	0.79	0.5138
Mes	5	30	9.30 **	<0.0001
Trt. * Mes	10	30	0.58	0.8155

Fuente propia.

El análisis estadístico demuestra que no existen diferencias significativas en tratamientos, bloques ni en la interacción Trt*Mes, pero en Meses si existen diferencias significativas, o sea, al menos un par de meses inducen a producir diferentes pérdidas de Agua entre si.

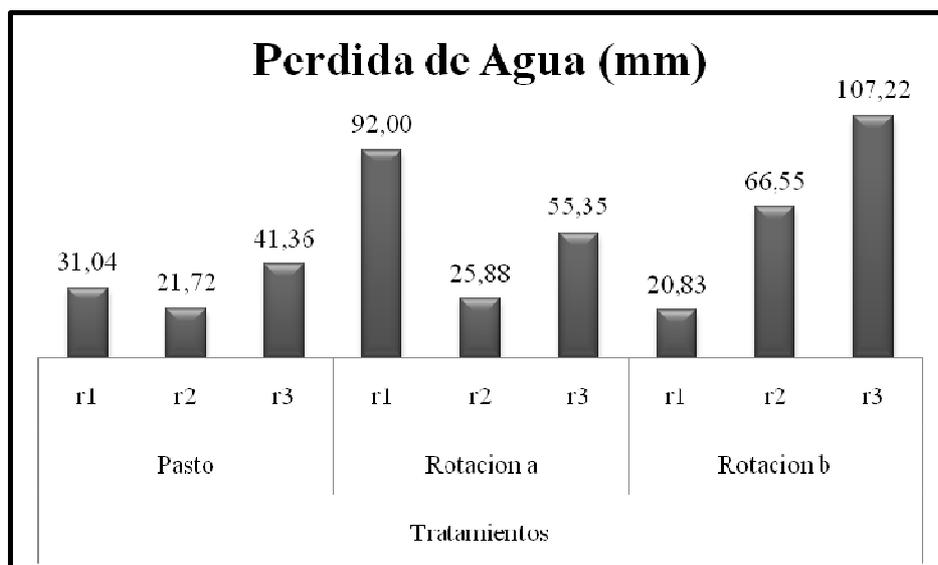


Figura 5. Datos de Pérdida de Agua en mm, Boaco 2007.

Las pérdidas de agua tienen un mismo comportamiento con las pérdidas de suelo siendo mayores en los tratamientos **Rotación b** con 65.24 mm de promedio y **Rotación a** con un promedio de 57.75 mm y el tratamiento que menor pérdida de agua mostro fue el **Pasto** con 34.26 mm. El tratamiento **Pasto** reduce la escorrentía evitando así la erosión, además existe un aumento en la infiltración que a su vez provoca una mayor recarga en el manto freático del suelo. Véase anexo 7.13.2.

3.6.2. Comportamiento de las precipitaciones en Boaco del año 2007. Dentro de los factores principales causantes de pérdidas de suelo están las lluvias por eso es vital analizar el comportamiento de las precipitaciones como factor que afecta las pérdidas de suelo, en los anexos 7.11 y 7.12 se presenta una tabla con las precipitaciones en todo el año pero a continuación se muestra en forma grafica. Aunque aquí se muestra las precipitaciones para todo el año en la investigación solo se evalúan los meses lluviosos (Junio-noviembre).

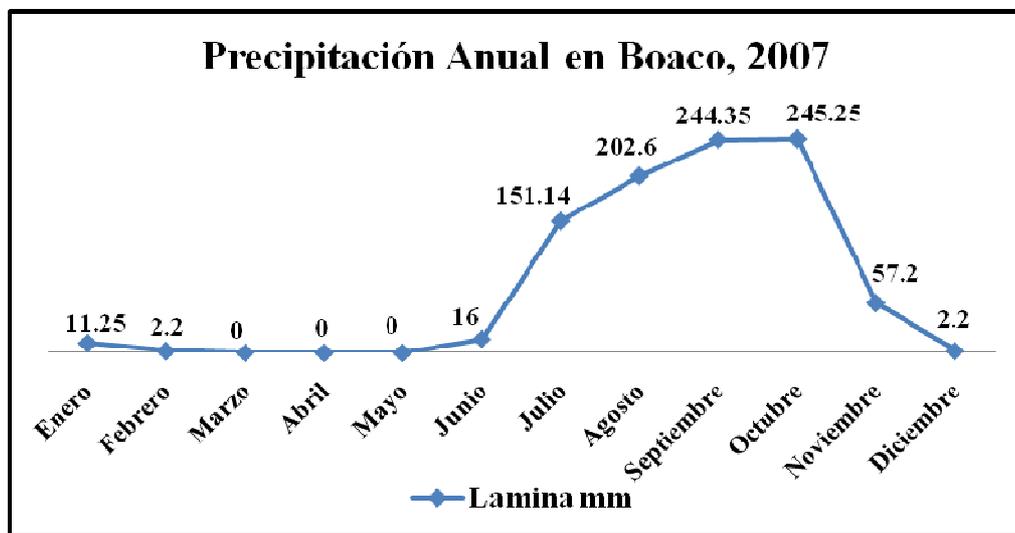


Figura 6. Comportamiento de las precipitaciones, Boaco 2007.

En la figura 6 se muestra el comportamiento de la lamina caída mensualmente, la que indica que la frecuencia de los eventos y la mayores acumulaciones fueron en los meses de septiembre y octubre los que coinciden con el período de preparación, siembra y manejo cultural de cultivo (maíz) en el ciclo de postera provocando que el suelo estuviera mas tiempo con una cobertura menos densa por lo que los suelos se vuelven más susceptible al proceso erosivo, esto hace necesario ajustar dicho manejo con algunas prácticas que permitan el mantener una cubierta de calidad que proteja la tierra en este periodo mediante rotaciones o la implementación de cultivos de relevo que garanticen la cubierta vegetal.

3.6.3. Efecto de las precipitaciones en el proceso de erosión.

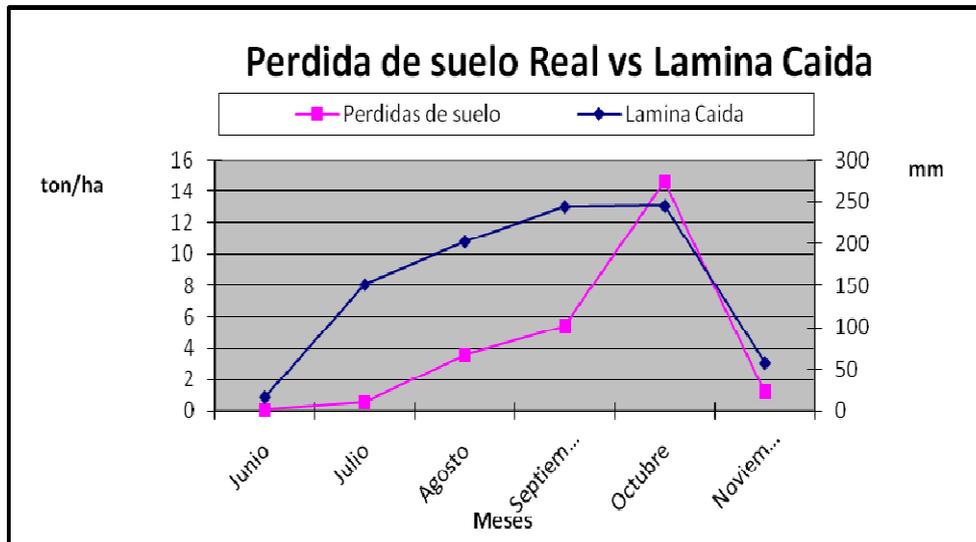


Figura 7. Pérdida Real versus Lamina caída, Boaco 2007.

Las pérdidas de suelo están estrechamente ligadas con la lámina caída, existiendo un coeficiente de correlación del 0.71 o sea 71%, indicando que un aumento en las precipitaciones traerá consigo mayores pérdidas con una certeza del 71%.

3.6.4. Comportamiento del factor Erosividad con EI_{30} , EI_{20} , y EI_{10} . En el siguiente gráfico aparece reflejado el comportamiento de las diferentes intensidades en los meses de Julio – Agosto.

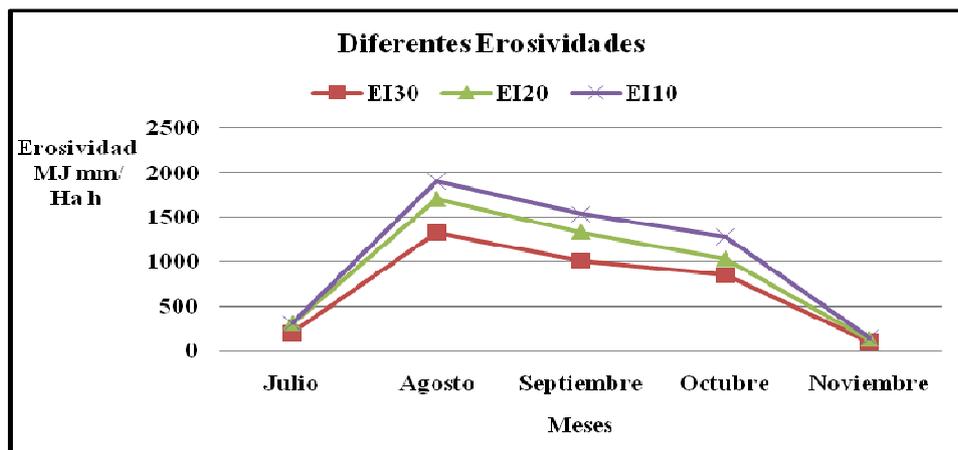


Figura 8. Valor de la erosividad con diferentes EI_{30} , EI_{20} , EI_{10} , Boaco 2007.

La figura 8 muestra que el factor R es mayor utilizando un EI_{10} esto es porque el índice 10 nos refleja las frecuencias de eventos que se presentan en zonas tropicales con lluvias de corta duración y de alta intensidad capaz de desprender y transportar las partículas del suelo de su lugar original a otro distante siempre y cuando la fuerza del escurrimiento disminuya debido a que la gradiente de la pendiente se aproxima a cero, además el EI_{10} toma tormentas que no fueron tomadas en los EI_{20} Y EI_{30} .

Tabla 9. Coeficiente de correlación entre pérdidas reales y el factor R con $EI_{30, 20}$ y 10 , Boaco 2007

	Coeficiente De Correlación
Factor R	Pérdidas de suelo
R (EI_{30})	0.43
R (EI_{20})	0.38
R (EI_{10})	0.45

Fuente propia.

Aunque en esta investigación se utilizó el EI_{30} para calcular el factor R, una opción sería el EI_{10} , ya que el valor del coeficiente para un EI_{10} es de 0.45 siendo mayor que el EI_{30} utilizado en la ecuación, aunque esto implica reestructurar la EUPS. Este breve aumento en el coeficiente es causado porque al utilizar el EI_{10} algunas tormentas que fueron muy cortas (menores de 20 minutos) son incluidas en la ecuación y en las EI_{30} no son incluidas y eso hace disminuir la correlación con las pérdidas de suelo, Además esta investigación se realizó únicamente para un año y la EUPS fue el resultado de muchos años de estudio bajo estrictas observaciones y modificaciones. Además en Nicaragua las condiciones climáticas y de suelo son diferentes a las establecidas en los Estados Unidos.

3.6.5 Pérdidas de suelo en función de la erosividad con un EI_{30} .

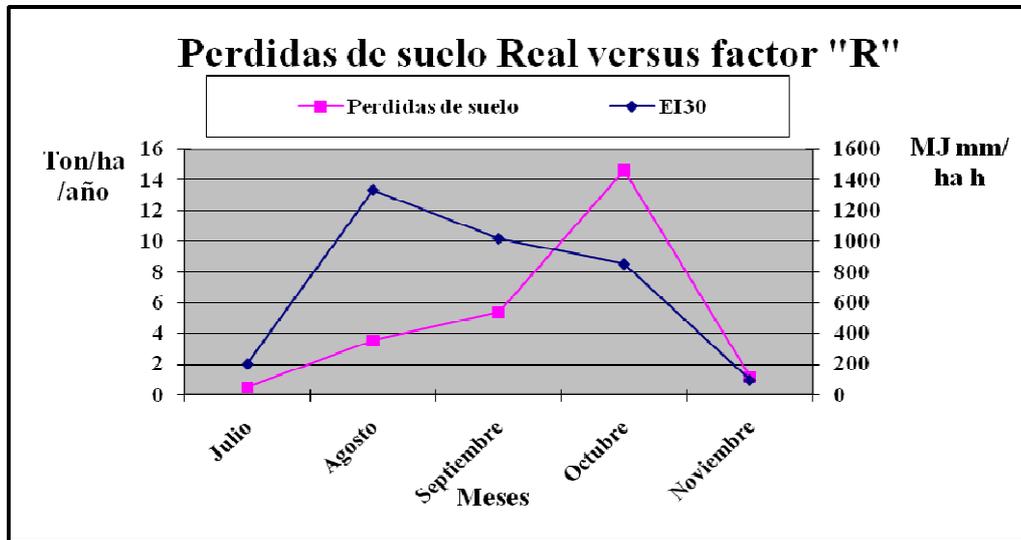


Figura 9. Pérdidas de suelo versus erosividad, Boaco 2007.

La figura 9 muestra que las pérdidas reales no tienen mucha dependencia con el factor R, donde la correlación es de 0.43 siendo muy bajo porque el factor R se calcula potencialmente y por lo tanto puede sub o sobre estimar las pérdidas reales o bien por que la cantidad de información que se esta evaluando de seis meses es relativamente escasa y más cuando se estudia el comportamiento de los patrones de lluvia en el proceso de erosión del suelo, por lo que amerita contar con una base de información de varios años.

IV. CONCLUSIONES

- Los factores que intervienen directamente en las pérdidas de suelo son: la cobertura vegetal, las precipitaciones, textura y la pendiente del terreno. Estos factores influyen de una manera considerable en las pérdidas de suelo.
- El tratamiento pasto fue el que mostro las menores perdidas de suelo, obteniendo como promedio 5.12 ton/ha/año. Demostrando así que un cultivo con un sistema foliar denso reducirá las pérdidas de suelo.
- Al comparar los tratamientos Rotación frijol-maíz con rastrojos (Rotación a) y Rotación frijol-maíz sin rastrojos (Rotación b) se encontró que el tratamiento “Rotación a” se comporto como mejor protector del suelo obteniendo perdidas promedio de 32.36 ton/ha en cambio el tratamiento “Rotación b” mostro mayores perdidas de suelo con 38.44 ton/ha/año.
- Las precipitaciones influyen directamente sobre las pérdidas de suelo, afectando más cuando se presentaron los mayores eventos lluviosos. En primera por ejemplo se perdieron como promedio de las 9 parcelas 4.09 ton/ha y en postrera 21.22 ton/ha, demostrando así que en los meses de septiembre (cosecha de Frijol) y octubre (Siembra y resiembra de maíz) donde se dan las mayores intensidades también las perdidas aumentaron.
- Al comparar las perdidas reales y las calculadas por la ecuación se observa un aumento como promedio entre los tres tratamientos de **49** veces, ya que el valor promedio de perdida potencial es 1255.39 ton/ha/año en cambio el promedio de pérdidas reales es de 25.31 ton/ha/año.
- La Lámina caída esta estrechamente ligada a la perdida de suelo, si la lámina caída es mayor también las perdidas serán mayores, debido al alto potencial erosivo del agua. El coeficiente de correlación entre las pérdidas de suelo y la lámina caída es de 0.71 o sea que existe una estrecha dependencia entre ambas.

V. RECOMENDACIONES.

- Dado que Boaco es una zona ganadera, se recomienda como mejor alternativa para el productor la siembra de pasto, ya que es el cultivo que reduce en gran manera la erosión en pendientes pronunciadas.
- No es correcto comparar un sistema de pastura estable (> 2 años de establecido) contra cultivos anuales que eliminan cobertura y alteran el suelo.
- Es necesario realizar comparaciones con años anteriores sobre macro y micro nutrientes, MO, pH, CIC, Da y textura. Con el fin de observar los cambios en las propiedades del suelo.
- En próximas investigaciones se debe tomar en cuenta la rentabilidad de los cultivos y obras de conservación de suelo que se adecúen a la zona.
- Dado que Boaco tiene zonas altas y boscosas es necesario continuar el estudio, pero con el establecimientos de parcelas de bosque y café y en diferentes tipos de suelo, para observar el efecto de las mismas sobre las pérdida de suelo y agua.
- Establecer estudios de suelo con parcelas testigos, para fortalecer y saber distinguir el efecto de la misma sobre las perdidas de suelo, además con esta parcelas testigo se vera el efecto de la cobertura vegetal.

VI. BIBLIOGRAFIA

BUCKMAN Y BRADY. 1985. Naturaleza y Propiedades de los suelos. México. Litográfica Ingramex, S.A. Pág. 1 – 17.

CASANOVA, M. Predicción de la erosión hídrica vía modelo USLE. (Consultado el 20 de junio de 2008). Disponible en internet 7:
http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/ap/ciencias_agronomicas/c20036413224_con_usle_2003.pdf

FAO. 1977. Guía para la Descripción de Perfiles de Suelo. Segunda Edición. Roma.

FAO. 1978. La erosión del suelo por el agua. Segunda Edición. Roma. Pág. 1 – 23

GÁMEZ, W. 1989. Evaluación de índices de Erodabilidad a través de pérdidas de suelo mediante un Mini-Simulador de Lluvia. Tesis de grado. Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias. Managua, Nicaragua.

GARCÍA, J. GARCÍA, R. 1982. Edafología y Fertilización Agrícola. Barcelona. Primera Edición. Editorial AEDOS. Pág. 21 – 55.

KIRKBY, M.J. Y R.P.C, MORGAN. 1984. Erosión de Suelos. México, Editorial Limusa, S.A. p. 41 – 68.

LADERAS, 1999. IV Seminario Nacional de Conservación de Suelos y Agua (CSA). Managua, Nicaragua. PASOLAC. Pág. 30-31.

LADERAS, 1999. El suelo y el agua: dos recursos olvidados y en vías de extinción en Nicaragua. Managua, Nicaragua. PASOLAC. Pág. 1-2.

MURILLO, G. 1990. Erodabilidad de cuatro series de suelos determinadas por el mini-simulador de Lluvia y el Nomograma de Wischmeier. Tesis de grado. Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias. Managua, Nicaragua.

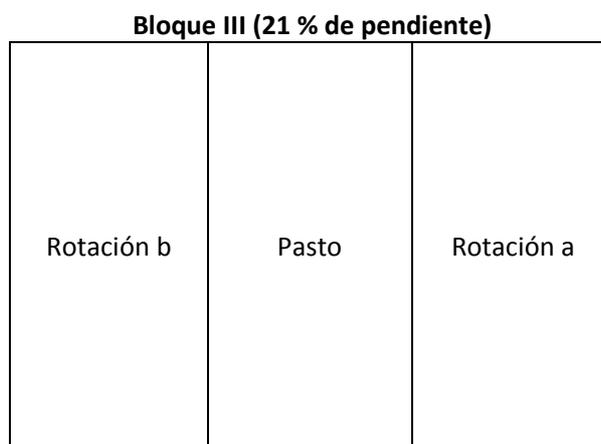
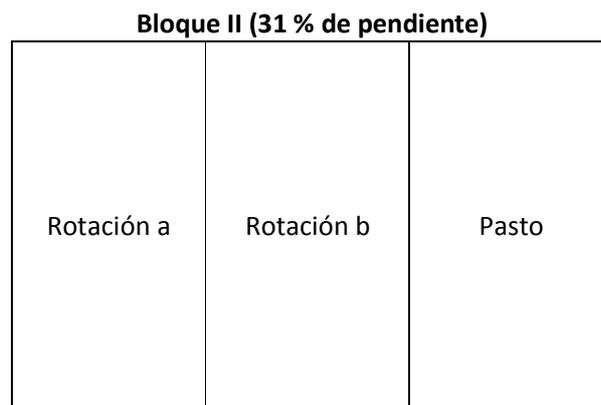
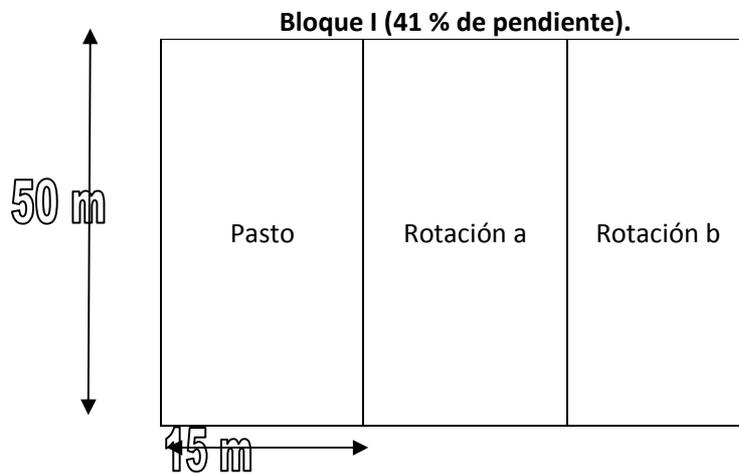
NUÑEZ, J. 2001. Manejo y conservación de suelos. Primera Edición. Costa Rica, Editorial EUNED. P. 79 – 101.

PEDROZA, J. 1993. Fundamentos de Experimentación Agrícola. Managua. Editora de Arte, S.A. (EDITARTE). Pág. 82 – 96.

WISCHMEIER, W.H Y SMITH, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. Washington. Pág. 1 – 51.

VII. ANEXOS

Anexo 7.1. Esquema de la distribución de los tratamientos, Boaco 2007.



Anexo 7.2. Material de trabajo.

Material de Campo:

Tanque colectores de 750 litros.

Canales plásticos.

Tubos plásticos PVC.

Potes colectores de 1 litro.

Plástico.

Estacas.

Grapadora.

Martillo.

Palas.

Piochas.

Baldes.

Machetes.

Espeque.

Taype.

Pega.

Tijeras.

Marcadores

Reglas.

Lápices.

Tablas de campo.

Libretas.

Material de Redacción:

Computador.

Impresora.

Memorias.

CD.

Calculadoras.

Libros.

Libretas de apuntes.

Lápices.

Anexo 7.3. Tabla del cálculo del factor de Erosividad de una tormenta.

CALCULO DEL FACTOR EROSIVIDAD (EI30) EN UNA TORMENTA						
I	II	III	IV	V	VI	VII
Fecha	TIEMPO	CANTIDAD (mm)	DURACION (min.)	INTENSIDAD (mm/h)	POR UNIDAD DE LLUVIA (MJ/haΣ (mm)	POR INCREMENTO DE TORMENTA (MJ/ha)
26/08/2007	03:50 p.m.	0	10	0		
26/08/2007	04:00 p.m.	0.3	10	1.8	0.141	0.042
26/08/2007	04:10 p.m.	0.3	10	1.8	0.141	0.042
26/08/2007	04:20 p.m.	1.1	10	6.6	0.191	0.210
26/08/2007	04:30 p.m.	2	10	12	0.213	0.426
26/08/2007	04:40 p.m.	0.7	10	4.2	0.173	0.121
26/08/2007	04:50 p.m.	0.5	10	3	0.161	0.080
26/08/2007	05:00 p.m.	0.4	10	2.4	0.152	0.061
26/08/2007	05:10 p.m.	0.7	10	4.2	0.173	0.121
26/08/2007	05:20 p.m.	0.7	10	4.2	0.173	0.121
26/08/2007	05:30 p.m.	0.2	10	1.2	0.126	0.025
26/08/2007	05:40 p.m.	0.2	10	1.2	0.126	0.025
26/08/2007	05:50 p.m.	0.2	10	1.2	0.126	0.025
26/08/2007	06:00 p.m.	0.3	10	1.8	0.141	0.042
Energía Cinética de la tormenta E (MJ/ha)						1.344
Lamina caída para una Intensidad (I₃₀) mm/h						7.6
Factor Erosividad (R=E*I₃₀) en MJ*mm/ha*h						10.215

Fuente: propia

La columna VI se calcula con la siguiente ecuación $E = 0.119 + (0.0873 * \log_{10} I)$.

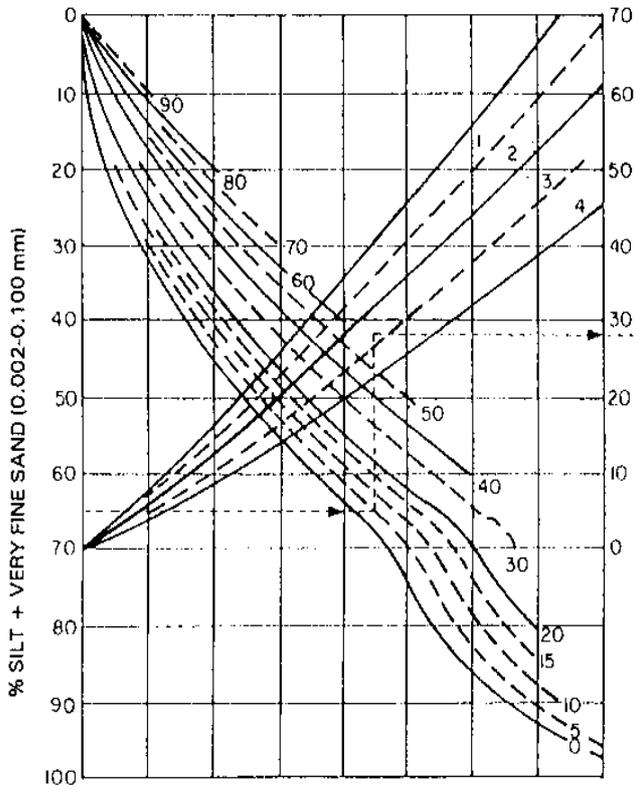
La columna VII es el resultado de multiplicar la columna VI por la columna III.

La Energía Cinética de la tormenta es la suma de la columna VII.

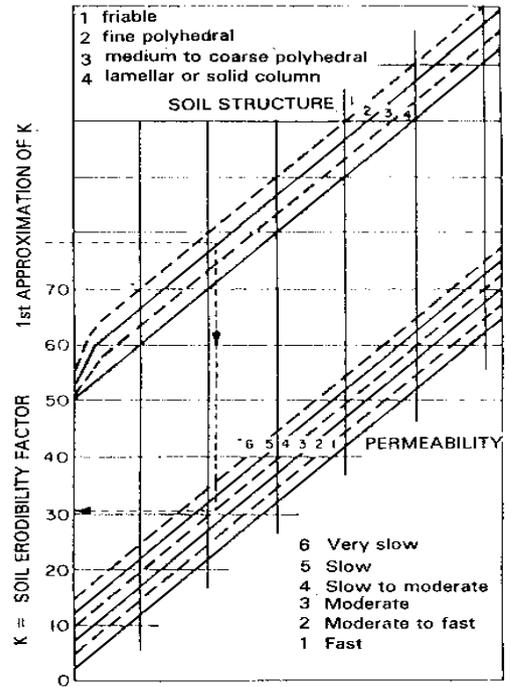
La Intensidad 30 (I₃₀) es la suma de la lámina máxima caída en 30 minutos que aparece encerrada en el círculo.

El factor R es el resultado de multiplicar el factor E por el factor I₃₀.

Anexo 7.4. Nomograma de Wischmeier y Smith



Fuente: Wischmeier y Smith, 1978



Anexo 7.5. Tabla de valores del Factor C.

<u>Valores referenciales del índice del factor de uso y manejo del suelo</u>	
Cobertura Vegetal	C
Maní	0.3
Palma de aceite	0.3
Papas	0.4
Papas(Surcos a través de la pendiente)	0.3
Papas (surcos según la pendiente)	0.6
Papaya	0.2
Pasto permanente- bueno	0.04
Pasto Permanente-Malo	0.4
Pasto Permanente-Malo	0.4
Piña en contorno- residuos en superficie	0.01
Piña en contorno- residuos enterrados	0.2
Piña en contorno- residuos recolectados	0.3
Plantación joven de árboles	0.3
Rastrojo alto con capa de humus	0.01
Sorgo	0.3
Soya	0.4
Suelo desnudo	1
Tabaco	0.5
Taro	0.86
Te	0.2
Tef (Etiopía)	0.25
Yam	0.5
Yuca	0.8

Fuente: Millar and Donahue, 1990; citado por Núñez 2001.

Anexo 7.6. Tabla de valores del factor "C"

<u>Valores referenciales del índice del factor de uso y manejo del suelo</u>	
Cobertura Vegetal	C
Bosque no intervenido	0.001
Bosque intervenido	0.34
Tierras erosionadas con escasa vegetación	0.8
Suelo desnudo	1
Cultivo extensivo en hileras, ejemplo Maíz	0.5
Yuca y Batata Primer año	0.2-0.8
Palmera, Café, Cacao	0.1-0.3
Pastos	0.07
Hortalizas	0.3
Algodón	0.6
Arroz de riego	0.05
Arroz de secano	0.5
Banana	0.6
Bosque con capa de humus	0.001
Cacao	0.2
Café	0.2
Café bajo sombra	0.05
Caña de azúcar	0.2
Chile	0.6
Maíz	0.65

Fuente: Millar and Donahue, 1990; citado por Núñez 2001.

Anexo 7.7. Factor P de prácticas de conservación de suelos.

Pendiente del terreno en porcentaje	Cultivo en contorno Surcos Irrigados	Cultivo en franjas de contorno	Terraza
1-2	0.60	0.30	0.12
3-8	0.50	0.25	0.10
9-12	0.60	0.30	0.12
13-16	0.70	0.35	0.14
17-20	0.80	0.40	0.16
21-25	0.90	0.45	0.18

Tomado de Wischmeier y Smith, citado por Kirkby y Morgan, 1984.

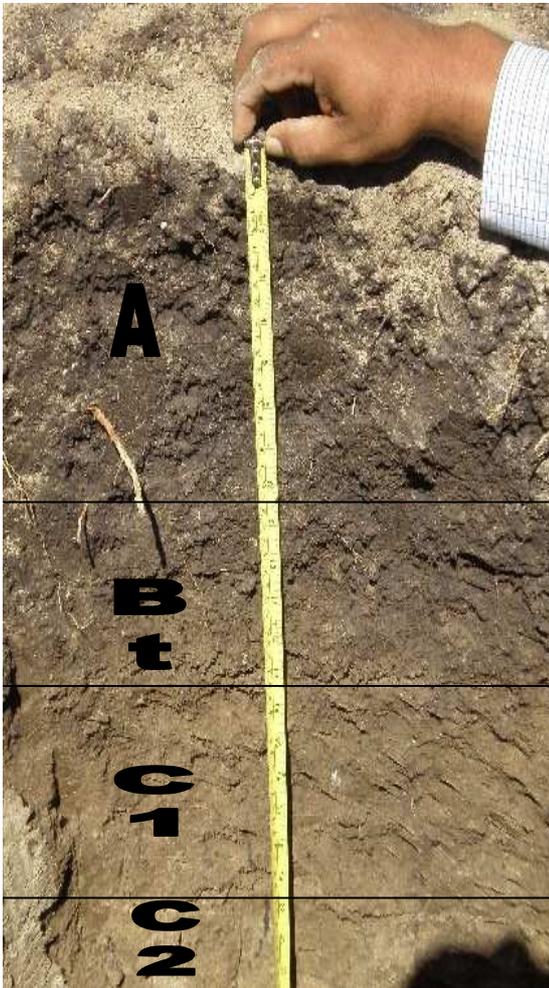
Anexo 7.8. Descripción del perfil de suelo.
Perfil 4, Municipio de Boaco, sitio la bombilla

Orden molisol; sub orden es Ustol; gran grupo Argiustol; sub. Grupo Typic Argiustol
Es un suelo desarrollado sobre un horizonte Mólico, con presencia de cutáneo en el horizonte Argílico.

Información general:

Fecha de la descripción: 18-01-07
Localización del perfil: Barrio la Bombilla
Municipio: Boaco
Departamento: Boaco
Clasificación Taxonómica: Molisol
Uso actual: Pasto
Zona climática: Trópico de sabana
Material Madre:

Fisiografía: Colina
Elevación: 500 msnm
Relieve: colina
Pendiente (%): 15 – 30%
Erosión: laminar, surco
Permeabilidad: Moderada



A 0 – 33 cm. El color es gris muy oscuro (10YR 3/1) en húmedo, con una textura Arcillosa (A) y una estructura de bloque sub angulares, su consistencia en seco es duro, en húmedo es firme y en mojado es plástico y adherente, presenta un limite abrupto y uniforme, con abundantes poros finos y frecuentes medios, con pocas raíces finas y muy finas.

Bt 33 – 53 cm. Este horizonte presenta un color pardo grisáceo oscuro (10YR4/2) en húmedo, de textura Franco arcillo arenoso (FAa). Su estructura es de bloques con una consistencia en seco de duro a moderadamente duro, en húmedo la estructura se comporta moderadamente firme y en mojado es plástico y adherente. Se presenta un límite abrupto y uniforme con abundantes poros finos y pocos medios y pocas raíces finas.

C₁ 53 -80 cm. El color en húmedo es café (10YR5/2), con una textura Franco arcillo arenoso (FAa). Presenta una estructura de bloques y la consistencia en seco es dura y moderadamente dura y en húmedo es moderadamente firme y en mojado es moderadamente plástico y adherente. Su límite es claro y uniforme con abundantes poros finos y pocas raíces finas.

C₂ 80 – 106 cm. El color en húmedo es café (10 YR 4/3), su textura es Franco arcillo arenoso (FAa), con una estructura de bloques y su consistencia en seco es duro y moderadamente duro, en húmedo es moderadamente firme y en mojado es plástico y adherente. Presenta

Fuente: Ing. Ignacio Rodríguez

Anexo 7.9. Factor Erosividad de las tormentas en 6 meses de lluvia.

Factor de Erosividad de la tormenta "R" (E ₃₀) para todas las tormentas.					
Número de tormenta	Fecha	Energía cinética de la lluvia (E)(MJ/ha)	Intensidad 30 (I ₃₀) mm/h	Factor de Erosividad (R=E*I ₃₀) MJ*mm/ha*h Por tormenta	R por día
1	08/07/2007	4.694	25.000	117.338	129.981
2	08/07/2007	1.171	10.800	12.643	
3	11/07/2007	2.145	10.200	21.880	21.88
4	15/07/2007	0.857	7.800	6.681	8.193
5	15/07/2007	0.348	4.000	1.390	
6	15/07/2007	0.094	1.300	0.122	
7	25/07/2007	2.198	18.200	40.005	40.005
8	31/07/2007	0.770	4.080	3.143	3.143
9	05/08/2007	7.441	53.800	400.331	400.331
10	11/08/2007	0.047	0.800	0.038	560.053
11	11/08/2007	11.111	50.400	560.015	
12	14/08/2007	0.920	8.600	7.910	264.605
13	14/08/2007	6.290	40.800	256.651	
14	14/08/2007	0.055	0.800	0.044	
15	21/08/2007	0.347	4.000	1.388	1.388
16	22/08/2007	1.737	13.000	22.584	45.625
17	22/08/2007	1.772	13.000	23.041	
18	26/08/2007	1.323	6.900	9.127	20.115
19	26/08/2007	1.344	7.600	10.215	
20	26/08/2007	0.351	2.200	0.773	
21	27/08/2007	2.284	18.200	41.569	41.569
22	04/09/2007	1.936	13.600	26.333	36.718
23	04/09/2007	1.923	5.400	10.385	
24	05/09/2007	1.139	10.300	11.731	234.855
25	05/09/2007	0.861	3.600	3.099	
26	05/09/2007	0.086	1.000	0.086	
27	05/09/2007	0.573	3.800	2.176	
28	05/09/2007	0.135	1.600	0.216	
29	05/09/2007	2.424	18.200	44.111	
30	05/09/2007	6.424	27.000	173.436	
31	14/09/2007	1.298	11.000	14.274	14.301
32	14/09/2007	0.039	0.700	0.027	
33	15/09/2007	0.777	7.400	5.751	5.815
34	15/09/2007	0.064	1.000	0.064	
35	16/09/2007	0.274	2.600	0.711	135.29
36	19/09/2007	0.657	2.800	1.839	
37	19/09/2007	4.172	31.800	132.658	
38	19/09/2007	0.075	1.100	0.082	
39	20/09/2007	6.487	46.200	299.697	314.895
40	20/09/2007	1.523	8.800	13.405	
41	20/09/2007	0.044	0.500	0.022	
42	20/09/2007	0.403	4.400	1.771	

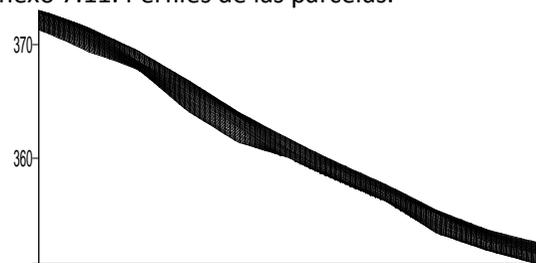
Fuente propia.

Anexo 7.10. Factor Erosividad de las tormentas en 6 meses de lluvia.

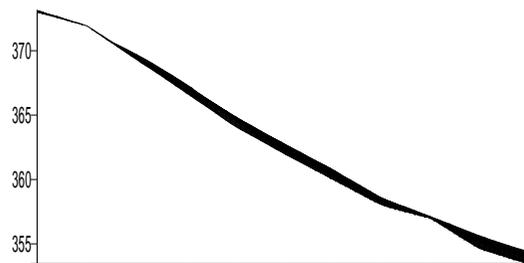
Factor de Erosividad de la tormenta "R" (EI₃₀) para todas las tormentas.					
Número de tormenta	Fecha	Energía cinética de la lluvia E (MJ/ha)	Intensidad 30 (I ₃₀) mm/h	Factor de Erosividad (R=EI ₃₀) MJ mm/ha h por tormenta	R por día
43	21/09/2007	7.660	35.200	269.627	276.382
44	21/09/2007	1.206	5.600	6.755	
45	03/10/2007	2.200	9.100	20.024	20.024
46	05/10/2007	6.983	24.000	167.589	168.034
47	05/10/2007	0.185	2.400	0.445	
48	06/10/2007	2.802	22.200	62.211	380.926
49	06/10/2007	8.257	38.600	318.715	
50	09/10/2007	0.150	1.900	0.285	93.474
51	09/10/2007	3.250	22.400	72.803	
52	09/10/2007	1.888	10.800	20.386	3.029
53	11/10/2007	0.096	1.400	0.135	
54	11/10/2007	0.139	1.600	0.222	
55	11/10/2007	0.236	2.600	0.613	
56	11/10/2007	0.114	1.500	0.171	
57	11/10/2007	0.327	2.500	0.818	
58	11/10/2007	0.315	3.400	1.070	6.997
59	12/10/2007	0.272	3.000	0.816	
60	12/10/2007	0.127	1.100	0.140	
61	12/10/2007	0.324	3.800	1.230	
62	12/10/2007	0.720	6.400	4.606	43.417
63	12/10/2007	0.121	1.700	0.205	
64	16/10/2007	1.976	17.200	33.980	
65	16/10/2007	0.797	7.600	6.055	16.915
66	16/10/2007	0.564	6.000	3.382	
67	17/10/2007	0.228	1.600	0.365	33.219
68	17/10/2007	1.655	10.000	16.550	
69	19/10/2007	0.151	2.000	0.302	
70	19/10/2007	1.705	12.800	21.827	
71	19/10/2007	0.054	0.900	0.049	
72	19/10/2007	0.843	8.200	6.916	
73	19/10/2007	0.793	5.200	4.125	3.216
74	20/10/2007	1.005	3.200	3.216	83.282
75	31/10/2007	4.123	20.200	83.282	90.423
76	12/11/2007	0.021	0.400	0.008	
77	12/11/2007	0.092	0.600	0.055	
78	12/11/2007	0.181	1.800	0.325	
79	12/11/2007	4.207	21.400	90.035	6.967
80	13/11/2007	0.743	7.000	5.203	
81	13/11/2007	0.588	3.000	1.764	
factor "R" por año					3505.067

Fuente propia.

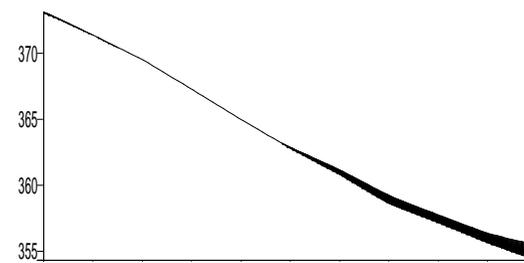
Anexo 7.11. Perfiles de las parcelas.



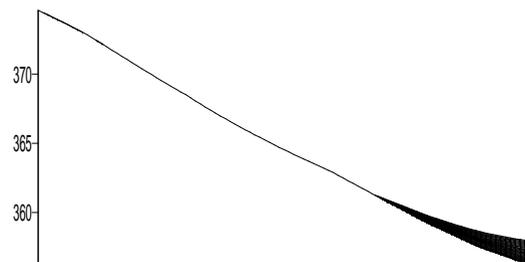
Parcela 1, Bloque I, Trt. Pasto



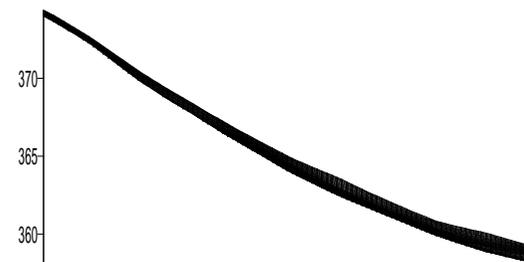
Parcela 2, Bloque I, Trt. Rotación a



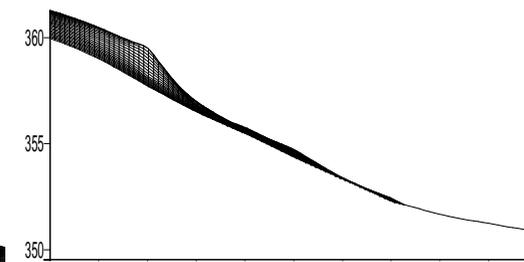
Parcela 3, Bloque I, Trt. Rotación b



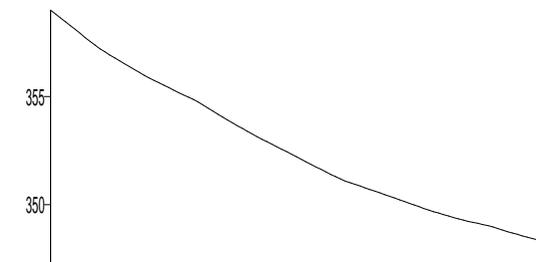
Parcela 4, Bloque II, Trt. Rotación a



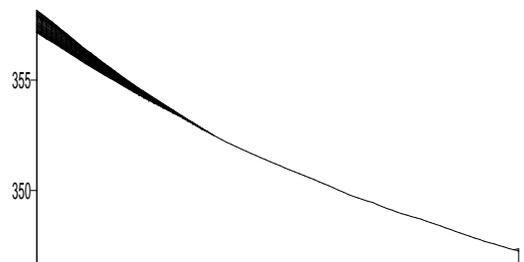
Parcela 5, Bloque II, Trt. Pasto



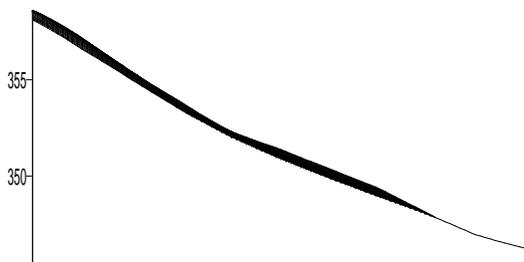
Parcela 6, Bloque III, Trt. Pasto



Parcela 7, Bloque III, Trt. Rotación a



Parcela 8, Bloque III, Trt. Rotación b



Parcela 9, Bloque II, Trt. Rotación b

Fuente Propia.

Anexo 7.12. Perdidas de Suelo Potencial (ton/ha), Boaco 2007.

Tratamientos									
	Pasto			Rotación a			Rotación b		
Mes	r1	r2	r3	r1	r2	r3	r1	r2	r3
Junio	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Julio	37.53	17.67	7.1	141.15	99.71	27.44	102.7	40.43	8.22
Agosto	246.33	117.79	17.8	926.38	693.06	180.1	684.62	265.33	227.39
Septiembre	180.22	85.43	25.61	1091.78	823.96	254.15	802.01	329.2	319.61
Octubre	154.34	73.8	29.11	939.7	714.02	162.86	633.2	243.23	236.21
Noviembre	16.702	7.99	3.16	102.07	76.36	21.37	75.43	29.23	26.98
Total	635.12	302.68	82.78	3201.08	2407.11	645.92	2297.96	907.42	818.41
Pro. Trt	340.19			2084.70			1341.26		
Prom. Total	1255.39								

Anexo 7.13. Perdidas de Suelo Real (ton/ha) y de Agua (mm), Boaco 2007.

Anexo 7.13.1 Perdidas de Suelo Real (ton/ha), Boaco 2007.

Tratamientos									
	Pasto			Rotación a			Rotación b		
Mes	r1	r2	r3	r1	r2	r3	r1	r2	r3
Junio	0.06	0.01	0.03	0.14	0.03	0.01	0.14	0.06	0.01
Julio	0.56	0.07	0.02	3.12	0.17	0.12	0.17	0.17	0.08
Agosto	1.31	0.21	0.4	17.55	0.95	0.82	4.58	5.7	0.34
Septiembre	0.77	0.35	1.03	10.48	3.97	6.06	2.22	5.14	18.49
Octubre	0.98	2.07	6.53	20.95	9.82	16.54	11.8	21.97	41.16
Noviembre	0.95	0.01	0.01	2.03	3.06	1.27	0.2	2.69	0.39
Total	4.63	2.72	8.02	54.27	18.00	24.82	19.11	35.73	60.47
Prom. Trt	5.12			32.36			38.44		
Prom. Total	25.31								

Anexo 7.13.2 Perdida de Agua (mm), Boaco 2007

Tratamientos									
	Pasto			Rotación a			Rotación b		
Mes	r1	r2	r3	r1	r2	r3	r1	r2	r3
Junio	0.34	0.03	0.15	0.58	0.24	0.19	1.51	0.48	0.13
Julio	0.88	1.18	0.53	1.79	1.15	1.79	1.51	1.46	1.08
Agosto	12.04	6.57	5.74	27.73	11.08	7.96	6.61	24.27	9.36
Septiembre	9.07	4.39	10.52	20.07	3.86	16.84	3.96	9.75	23.74
Octubre	7.48	8.69	23.55	35.76	8.69	22.1	7.48	24.51	65.72
Noviembre	9.87	0.87	0.87	6.08	0.87	6.47	0.87	6.08	7.19
Total	39.68	21.73	41.36	92.01	25.89	55.35	21.94	66.55	107.22
Prom. Trt	34.26			57.75			65.24		
Prom. Total	52.41								

Anexo 7.14. Estación Pluviográfica Boaco, 2007.

ESTACION METEREOLÓGICA : " LA BOMBILLA, BOACO "												
<u>DATOS PLUVIOGRÁFICOS DEL AÑO 2007</u>												
Días	Meses											
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
	LAMINA DE AGUA (mm)											
1	2.9						0.7	0.6	3.45	5.05		
2	1.6									4.8	5.2	0.8
3	3.85						2.25	0.45		10.8		1.4
4								0.5	20.75			
5							0.1	33.2	53.9	32.8	1	
6							10.95		4.8	44.7		
7	1.4						3.6					
8							26.05	7.85		6.95		
9							4.75	0.4	3.85	24.5		
10	0.4						5.05	9.55	3.3	0.7		
11							13.05	49.5		10.2		
12							19	0.1		12.35	23.8	
13	1.1						0.5	8.8	3.55	1.05	7.85	
14							5.2	29.8	6.55		0.3	
15							12.7	4.9	5.1	4.05		
16							0.2	3.25	4.75	16.85		

Fuente Propia.

Anexo 7.15. Estación Pluviográfica Boaco, 2007.

ESTACION METEOROLOGICA : " LA BOMBILLA, BOACO "												
<u>DATOS PLUVIOGRAFICOS DEL AÑO 2007</u>												
Días	Meses											
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
	LAMINA DE AGUA (mm)											
17							3.8	1.45	1.2	10.7		
18		2.2						5.1	2.7	0.75		
19								2.35	28	19.2	7.35	
20						0.7		0.3	36.25	7.95	0.9	
21						4.8		2	40.7	2.6	2.4	
22						0.3		8.85	15.5	0.85		
23						2.9		0.5		0.8	1.6	
24							11.1	1.55	8.1		1.35	
25						0.55	10.3	3.85	1.6	7.2	2.2	
26							0.2	16.55				
27						4.95		11.2			1.3	
28						1.6	6.15		0.3	0.8	1.95	
29							10.85					
30						0.2				1.1		
31							4.64			18.5		
Total	11.25	2.2				16	151.14	202.6	244.35	245.25	57.2	2.2

Fuente Propia.