

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA
UNAN - LEÓN**

FACULTAD DE CIENCIAS

"DEPARTAMENTO DE AGROECOLOGÍA TROPICAL"



A la libertad por la Universidad

**ESTUDIO DE LA PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA,
UTILIZANDO PARCELAS DE ESCURRIMIENTO EN LA PARTE ALTA DE LA
CUENCA ESTERO REAL (SALITRE-SAUCE-LEÓN), DURANTE EL
PERÍODO DE INVIERNO (JUNIO-DICIEMBRE) DEL 2005.**

Presentado por:

Br. Luis Enrique Medina Talavera
Br. Ronald José Urroz Blanco

Previo para optar al Título de Ingeniería en Agroecología Tropical

Tutor: Dra. Xiomara Castillo

León, Nicaragua 2006.

i AGRADECIMIENTO

- Antes que nada agradecemos a Dios el supremo creador por brindarnos la oportunidad de realizar este trabajo.
- Al Proyecto Chinandega-León (PROCHILEÓN), quien hizo posible la realización de este trabajo, a través de su colaboración financiera brindada para su ejecución.
- A la Dr. Xiomara Castillo por sus valiosos aportes al revisar el contenido de nuestra investigación y por habernos apoyado y asesorado en los trabajos de campo con mucho empeño y entusiasmo.
- A la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN – LEÓN) y a todos los docentes que gracias a ellos debemos nuestra formación profesional.
- Finalmente agradecemos a todas aquellas personas que han colaborado de alguna u otra manera en la realización de nuestro trabajo investigativo, entre ellas, al Sr. Teodoro Baquedano y familia, al Sr. Álvaro Baquedano y esposa, al Sr. Hilario Ramírez y familia, al Br. Claudio Valle y su esposa y demás personas que colaboraron con su trabajo para establecer las parcelas experimentales.

Br. Luis Enrique Medina Talavera.
Br. Ronald José Urroz Blanco.

ii DEDICATORIA

- Dedicamos este trabajo primeramente a Dios por habernos iluminados con inteligencia y sabiduría, dándonos la capacidad para culminar nuestra carrera y este trabajo.
- A nuestros padres quienes con mucho esfuerzo y sacrificio nos brindaron todo el apoyo moral y económico y acompañaron en momentos buenos y malos para llegar hasta donde estamos.
- Finalmente a nuestra familia y a todas aquellas personas que de alguna u otra manera nos apoyaron y estuvieron con nosotros en todos los momentos, alentándonos para llegar a coronar nuestra carrera.

Br. Luis Enrique Medina Talavera.
Br. Ronald José Urroz Blanco.

iii ÍNDICE GENERAL

I.	<u>Introducción</u>	1
II.	<u>Objetivo</u>	3
	2.1. Objetivo general.....	3
	2.2. Objetivos específicos.....	3
III.	<u>Marco Teórico</u>	4
	3.1 Definición de erosión.....	4
	3.2 Proceso de erosión.....	5
	3.3. Causas de la erosión.....	6
	3.4 Clasificación de la erosión.....	8
	3.4.1 La erosión geológica o natural.....	8
	3.4.2 La erosión acelerada.....	8
	3.5 Los agentes de erosión en una cuenca.....	9
	3.6 Principales formas de erosión.....	10
	3.6.1 Erosión hídrica.....	10
	3.6.1.1 Factores que intervienen en proceso de erosión hídrica.....	10
	3.6.1.2 Indicadores de la erosión hídrica.....	10
	3.6.1.3 Otros factores o características físicas que influyen en la erosión hídrica.....	12
	3.6.1.4 Formas de erosión hídrica.....	13
	3.7. Importancia de la erosión de suelos en Nicaragua y Centroamérica.....	15
	3.8. Efecto de la erosión en la agricultura.....	17
	3.9. Valoración del daño por erosión.....	17
	3.10. Niveles aceptables de erosión.....	19
IV.	<u>Materiales y Métodos</u>	20
	4.1. Caracterización de la zona.....	20
	4.2. Materiales utilizados.....	21
	4.3. Diseño del área de estudio.....	22
	4.4. Variables a estudiar.....	23
	4.5. Establecimiento de la microparcela a estudiar.....	24
	4.6. Recolección de datos.....	27
	4.7. Metodología para el análisis de resultados.....	28

V.	<u>Resultados y discusión</u>	<u>29</u>
	5.1. Cantidad de precipitación obtenida durante los 6 meses de evaluación.....	29
	5.2. Cantidad de lluvia caída y suelo erosionado en las parcelas de esorrentía.....	30
	5.3. Características de los suelos del área de estudio.....	32
	5.4. interpretación de los resultados.....	33
VI.	<u>Conclusiones</u>	<u>37</u>
VII.	<u>Recomendaciones</u>	<u>39</u>
VIII.	<u>Bibliografía</u>	<u>40</u>
IX.	<u>Anexos</u>	<u>43</u>
	9.1. Anexo 1: esquema del efecto de la lluvia sobre la erosión de los suelos.....	43
	9.2. Anexo 2: formulas empleadas para determinación de algunos indicadores físicos del suelo.....	44
	9.3. Anexo 3: resumen de los datos obtenidos en el estudio.....	45

iv ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Riesgo de erosión laminar de acuerdo a la pérdida de suelo propuesta por la FAO.....	19
Tabla 2. Ubicación de cada una de las parcelas experimentales según pendiente y uso de suelos.....	24
Tabla 3. Precipitación registrada entre los meses de junio a noviembre del 200.....	29
Tabla 4. Cantidad de lluvia caída y de suelo perdido por erosión en cada parcela.....	31
Tabla 5. Características físicas de los suelos del área de estudio.....	32
Tabla 6. Textura predominante en los suelos del área de estudio.....	33
Tabla 7. Cantidad de lluvia caída y suelo erosionado en la parcela de agricultura con pendiente de 54.3 % durante cada una de las tomas de datos	45
Tabla 8. Cantidad de lluvia caída y suelo erosionado en la parcela de agricultura con pendiente de 21.4 % durante cada una de las tomas de datos	45
Tabla 9. Cantidad de lluvia caída y suelo erosionado en la parcela de Ganadería con pendiente de 57.2 % durante cada una de las tomas de datos	45
Tabla 10. Cantidad de lluvia caída y suelo erosionado en la parcela de Ganadería con pendiente de 24.6 % durante cada una de las tomas de datos	46
Tabla 11. Cantidad de lluvia caída y suelo erosionado en la parcela de Bosque con pendiente de 54.7 % durante cada una de las tomas de datos	46
Tabla 12. Cantidad de lluvia caída y suelo erosionado en la parcela de Bosque con pendiente de 29.9 % durante cada una de las tomas de datos	46

v ÍNDICE DE GRÁFICOS, FIGURAS Y ECUACIONES

Figura 1.	
Diseño de la parcela experimental.....	23
Grafico 1.	
Cantidad de lluvia caída y de suelo erosionado en cada parcela.....	30
Figura 2.	
Etapas de la erosión hídrica.....	43
Ecuación 1.	
Formula para determinar la densidad aparente.....	44
Ecuación 2.	
Formula para determinar capacidad de retención.....	44
Ecuación 3.	
Formula para determinar capacidad de infiltración.....	44

vi RESUMEN

La erosión hídrica es uno de los problemas ambientales más serios que afectan gran parte de nuestro territorio nacional en diferentes grados de severidad. Esto ha venido ocasionando grandes pérdidas de suelos y fertilidad de los mismos, lo que ha acelerado la expansión de la frontera agrícola. La cuenca del Río Estero Real sufre de un sinnúmero de problemas, los cuales están degradándola cada vez mas. Las quemas agrícolas, los incendios forestales y eliminación de cobertura vegetal, provocan erosión y alteración del clima y ecosistema, debido a la desnudez del suelo y su exposición a diferentes cantidades e intensidades de lluvia las cuales golpean directamente el suelo causando problemas de erosión. Este estudio se realizo con el objetivo de determinar la tasa anual de suelo transportado por la erosión hídrica bajo diferentes usos de suelo (agricultura, ganadería y bosque) y pendientes (mayores de 50 % y de 15 a 30) y así mismo determinar el tipo de uso de suelo que ejerce mejor función de protección al suelo contra la erosión y analizar el impacto de las perdidas de suelo en diferentes áreas. Para esto se instalaron 6 parcelas de escurrimiento, que cuentan con un pozo de recepción, en el sector de Salitre, ubicado en la parte alta de la cuenca Estero Real, quedando dos parcelas para cada uso de suelo, con las siguientes pendientes: en el área agrícola una de 21.4 % y otra de 54.3 %, en ganadería una con pendientes de 24.6 % y otra con 57.2 % y para la parcela de bosque una de 29.9 y otra de 54.7. El suelo arrastrado y depositado en el pozo de recepción de cada parcela se recolectaba, se dejaba secando y luego se pesaba. Las tasas de perdida de suelo por erosión en el sector de salitre varían en rangos de 4.36 a 11.44 tn/ha/año, presentándose estos valores en las parcelas de agricultura con pendiente de 21.4 % y la parcela de bosque de 54.7 % de pendiente respectivamente influenciadas grandemente por el tipo de uso que se le da al suelo y por ende la vegetación existente en estos, teniendo menor influencia la pendiente por tal razón es recomendable fomentar el uso de prácticas de manejo y conservación de suelos en áreas de laderas y de esta forma lograr disminuir los niveles de erosión.

I. INTRODUCCIÓN

El avance indiscriminado de la deforestación, las prácticas tradicionales de rosa quema en complemento con actividades inapropiadas realizadas por el hombre, contribuyen grandemente a la desnudes y desequilibrio del globo terrestre. Todo esto permite que ocurran fenómenos naturales como: alteración del clima, presencia de huracanes, etc. Además períodos prolongados de lluvia tienen como consecuencia grandes deslaves en partes muy accidentadas y que a través de los ríos ayuda al arrastre de grandes cantidades de partículas de sedimentos que se acumulan en las partes más bajas (Quiroz, 2000)

La erosión hídrica del suelo es uno de los problemas ambientales más serios que afectan gran parte del territorio nacional en diferentes grados de severidad. Esto ha venido ocasionando grandes pérdidas de suelo y fertilidad de los mismos lo que ha acelerado la expansión de la frontera agrícola. En muchos casos esta situación (erosión) pasa desapercibida por tener suelos profundos y no nos damos cuenta de las grandes cantidades de suelo que se pierden en un área determinada, principalmente por la erosión hídrica a la cual se suman factores como: la pendiente del suelo, cantidad e intensidad de la precipitación, el despale, el uso y manejo inapropiado del suelo en zonas de laderas (FAO-INTA, 2000)

La magnitud del problema erosivo y su contexto socioeconómico incluye el análisis de los recursos de tierras y de agua disponible en el mundo, así como también el análisis de crecimiento de la población humana, asociado a su demanda alimenticia, de abrigo, de productos textiles, industrias camaroneras, productos farmacéuticos y de otros productos como resinas, caucho, chicle, etc. (Núñez, 2001)

La cuenca del río Estero Real, sufre de un sinnúmero de problemas, los cuales están degradando dicha cuenca cada vez más. Entre los problemas más importantes que vienen ocasionando la inestabilidad de la cuenca, tenemos la deforestación en la cabecera de los ríos (parte alta de la cuenca), esto se debe al avance de la frontera agrícola y ganadería extensiva, al despale irracional de los bosques, lo cual causa efectos de deslaves en las partes altas de la cuenca,

profundizaciones del manto freático, también puede ocasionar inundaciones y cambios de curso de los ríos.

Las quemas agrícolas, los incendios forestales y eliminación de cobertura vegetal provocan erosión y alteración del clima y ecosistema debido a la desnudez del suelo y su exposición a diferentes cantidades e intensidades de lluvia, las cuales golpean directamente el suelo causando problemas de erosión, siendo esta una de las principales razones que nos conlleva al estudio y a la necesidad de realizar estimaciones de la cantidad de suelo que se pierde en zonas de laderas y así demostrar la magnitud ocasionada por la erosión hídrica y otros problemas asociados (Spahn, 2000)

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General:

- Determinar la tasa anual de suelo transportado por la erosión hídrica bajo diferentes usos de suelo y pendiente.

2.2. Objetivos Específicos:

- Determinar la tasa anual de suelo arrastrado por las lluvias.
- Determinar el tipo de uso de suelo, que según su cobertura ejerce mejor función de protección al suelo contra la erosión.
- Analizar el impacto de las pérdidas de suelo en las diferentes áreas.

III. MARCO TEÓRICO

El suelo es una estructura dinámica formada por materiales orgánicos y minerales. Se encuentra cubriendo la corteza terrestre. Sirve de soporte a las plantas y les proporciona los elementos nutritivos necesarios para su desarrollo. El suelo esta formado básicamente por sustancias en estado sólido, líquido y coloidal (Castillo, 2000). Esta capa está formada predominantemente por compuestos inorgánicos hasta más del 99%, con un porcentaje variable de sustancias orgánicas. Existen suelos orgánicos que contienen una proporción apreciable de componentes inorgánicos, pero son menos comunes que los primeros (Fassbender, 1987). Es importante resaltar el suelo como un sistema cambiante en constante desarrollo, con muchos procesos físicos, químicos y biológicos y con las condiciones ambientales ejerciendo modificaciones y alteraciones; tampoco podemos pasar por alto las alteraciones por parte de las actividades humanas que con llevan a problemas que redundan en la calidad de vida de las poblaciones.

El hombre a través del uso irracional de los recursos naturales a desencadenado estos procesos incentivado por un contexto socio económico que incluye el avance de las fronteras agrícolas por procesos de marginalización de gran parte de la población, la falta de estrategias y planificación para un desarrollo sostenible de los recursos, el crecimiento demográfico, problemas de tenencia de tierras y deficiencias institucionales entre otros.

El suelo es el pilar fundamental en el abastecimiento de productos alimenticios para una población que aumenta significativamente día con día y es uno de los recursos que cada vez mas esta sufriendo una avanzada degradación principalmente por los procesos erosivos.

3.1. DEFINICIÓN DE EROSIÓN.

Es el desprendimiento y arrastre de partículas finas (arena, limo, arcilla) ligado a factores geológicos, geomorfológicos, antropicos, hídricos o eólicos (Núñez, 2001).

La erosión del suelo es la amenaza principal para dicho recurso, para su fertilidad, productividad, y por ultimo, para la producción de alimentos y fibras, sobre todo en campos de cultivos o en

laderas. La erosión retira una parte considerable de suelo superficial. El problema no es solo la cantidad de suelo perdido sino también la pérdida de su calidad. Cuando se lavan arcillas fértiles, material orgánico y nutriente, la producción se ve amenazada a largo plazo. Estos problemas son los llamados efectos de erosión en la parcela. Cuesta abajo, la erosión causa inundaciones, calmatación de depósitos y aguas de baja calidad; estos son los llamados efectos de erosión fuera de la parcela (Herweg Karl, 1998).

3.2 EL PROCESO DE LA EROSIÓN SEGÚN HERWEG KARL EN 1998 SE DA DE LA SIGUIENTE FORMA:

- Al caer la lluvia empieza el proceso de erosión hídrica. Las gotas de lluvia que no tocan las plantas causan el efecto de chapoteo definido como el impacto de las gotas en la superficie del suelo. Los agregados del suelo se destruyen y sus partículas son tiradas en todas las direcciones (Fig. 2).
- El agua de la superficie se puede infiltrar en el suelo a través de poros, si estos no están saturados. El agua que sobra se mueve como escorrentía cuesta abajo y arrastra partículas de suelo. Este proceso se llama movilización. Si la escorrentía esta distribuida homogéneamente surge la erosión laminar (Fig. 2)
- El agua tiende a contrarrestarse en el área de surco ya que esta es la parte mas baja de la superficie de un terreno. Las áreas de surcos se intercalan con las áreas de entre surco que son partes ligeramente mas elevadas. Las áreas de entresurcos son propensas a la erosión por chapoteo, mientras que las áreas de surco están sujetas a la erosión de surcos o de cárcavas (fig2
- Las personas que viven aguas abajo pueden tener serios problemas si aumenta la escorrentía y el transporte de sedimentos y nutrientes en los torrentes y ríos. A consecuencia de la calmatación de embalses, su capacidad de almacenar agua se reduce. El color marrón de los ríos indica que la calidad del agua potable a disminuido. Los pueblos pueden ser amenazados por contaminación e incluso por destrucción por inundaciones periódicas (fig. 2)

3.3. CAUSAS DE LA EROSIÓN.

La erosión del suelo es un fenómeno complejo, en el que intervienen 2 procesos:

La ruptura de los agregados y el transporte de las partículas finas resultantes a otros lugares. Además de la pérdida de la capa del suelo, que contribuyen a la desertización, las partículas arrastradas pueden actuar como vehículo de transmisión de contaminación (plaguicidas, metales, nutrientes, minerales, etc.). Se trata de un fenómeno natural pero que ha sido acelerado por las actividades humanas. La erosión puede ser causada por cualquier actividad humana que exponga al suelo al impacto del agua o del viento, o que aumente el caudal y la velocidad de las aguas de escorrentía.

El riesgo de erosión por acción del agua es máximo en períodos de lluvias intensas en que el suelo se encuentra saturado de agua, con escasa cubierta vegetal y aumenta el movimiento del agua por la superficie del suelo. El efecto de la escorrentía resultante elimina cantidades importantes de suelo y origina regueros de erosión que actúan como ruta principal del agua, lo que aumenta el problema. La incidencia de la erosión por el viento, propia de climas áridos y semiáridos, es casi siempre debida a la disminución de la cubierta vegetal del suelo, bien por sobre pastoreo o a causa de la eliminación de la vegetación para uso doméstico o agrícolas (Castillo, 2004).

Por tal razón es necesario realizar prácticas de conservación de suelos y aguas en el momento y en el lugar con más problemas erosivos. Para esto es importante tomar en cuenta los componentes que implica la conservación de suelos y agua, según el Ministerio de Agricultura y Ganadería, 1994, mencionados a continuación:

- Componente de Uso de Suelo. Ej.: selección de un uso de tierra que no provoque daños de erosión a largo plazo. Cualquier tipo de uso de suelo involucra la extracción parcial de la vegetación natural, lo que ayuda a la erosión del suelo de una u otra manera. No hay manera de encontrar el uso correcto de la tierra, pero métodos como la clasificación de la capacidad de tierras intentan indicar las maneras de uso del suelo más sostenible. Cuanto más favorable son las condiciones físicas, por ejemplo, cuanto más pronunciada es una pendiente o menos

profundo un suelo, más grande será el riesgo de erosión y mayor la necesidad de conservación.

No sería realista sugerir a los campesinos que cambiaran la producción de granos básicos por el pasto, porque sus familias dependen de la producción de alimentos. Pero si la tierra es de baja calidad, su productividad no se puede mantener durante mucho tiempo sin grandes inversiones en prácticas de conservación o rehabilitación.

- **Componente Biológico.** Ej.: cobertura de las plantas, barreras vivas o mulch (rastrojo). Consiste en diferentes tipos de plantas, incluyendo las partes que se encuentran por encima y por debajo de la superficie del suelo. La cobertura vegetal reduce el chapoteo previniendo el impacto directo de las gotas de lluvia sobre la superficie del suelo. De esta manera, los agregados del suelo pueden conservarse durante más tiempo. Además, las plantas pequeñas, el mulch, etc., ayudan a acumular suelo transportado por el flujo superficial. La vegetación reduce la evaporación que causa el secamiento y el encostramiento del suelo. Las raíces favorecen la infiltración reduciendo así la escorrentía.

Las plantas facilitan las condiciones apropiadas para la fauna subterránea. Cuando el material orgánico de las plantas y animales se descompone, aumenta la cantidad de materia orgánica y la fertilidad del suelo superficial, produciendo agregados más estables y resistentes a la erosión por chapoteo (erosión pluvial). Concluyendo, la vegetación es la mejor protección para el suelo y siempre que sea posible, debería ser la preferencia en la conservación de suelo y aguas.

- **Componente Agronómico.** Ej.: época y densidad óptima de siembra, fertilización, uso de herramientas adecuadas y manejo de suelo. Respalda al componente biológico aumentando el crecimiento de las plantas. La labranza pretende mantener la estructura del suelo y aumentar el volumen de los poros en el suelo. Ambos componentes mejoran la infiltración y de esta manera se reduce la escorrentía y la erosión.
- **Componente Mecánico.** Si el clima es demasiado frío o seco en algunas épocas, la conservación de suelo y agua no puede depender únicamente del componente biológico.

Durante la preparación de la parcela, el componente biológico todavía no tiene efecto. La mayoría de las veces el daño por erosión es resultado del flujo superficial incontrolado. En este caso la protección debe depender en gran parte del componente mecánico, que controla la escorrentía, almacenando tanta agua como sea necesario para el crecimiento de las plantas y drenando el exceso de agua sin causar daños en la parcela. Este componente regula la velocidad de la escorrentía y la sedimentación de materiales erosionados en lugares específicos. Los problemas de drenajes exceden el nivel de una sola parcela: un sistema de drenaje debe ser mantenido por todos los campesinos que cultivan una misma ladera o cuenca. Ej.: medidas que incluyen movimiento de tierra como terrazas y acequias, etc.

3.4. CLASIFICACIÓN DE LA EROSIÓN.

3.4.1. La erosión geológica o natural, que se produce por la dinámica del medio ambiente, como el agua de las lluvias, la corriente de los ríos, el viento, el clima, la topografía. Esta erosión es imperceptible y tiende a buscar la estabilidad en la superficie del suelo y equilibrio entre el proceso de desgaste de la costra terrestre y la formación nueva del suelo.

3.4.2. La erosión acelerada, es propiciada por el hombre al romper el equilibrio entre los suelos, la vegetación, el agua y los animales. Esta erosión se da cuando el ecosistema natural es transformado por la práctica productiva del hombre en un agro ecosistema, en este proceso se altera el ciclo básico del ecosistema natural, es decir, de los diferentes flujos de la relación suelo-planta-agua. En consecuencia se produce un empobrecimiento químico del suelo, se reduce las poblaciones de microorganismos y empeoran las características físicas del suelo. Los agentes erosivos más importantes que actúan en la erosión acelerada son:

- La lluvia
- El viento
- Los ríos
- La temperatura
- Los animales
- El laboreo agrícola

3.5. LOS AGENTES DE EROSIÓN EN UNA CUENCA ()

Los principales agentes de la erosión en la cuenca son: el agua, el viento, cambios de temperatura, el pisoteo por sobre pastoreo y las prácticas agrícolas inadecuadas. El agua, el sobre pastoreo y las prácticas agrícolas son los agentes que aportan en mayor grado en el avance acelerado de los procesos erosivos de la cuenca.

El agua

Agente de mayor importancia en la cuenca, siendo en este caso la erosión hídrica el resultado de la energía producida por el agua al precipitarse sobre la tierra y al fluir sobre la superficie de los terrenos desprotegidos de cobertura vegetal.

El viento

Es un agente físico que influye en la erosión y formación de los suelos al causar el desprendimiento, transporte y deposición de partículas finas de suelo.

Pisoteo por pastoreo

El proceso erosivo también está influido por los organismos vivos en forma directa e indirecta. En forma directa, el pisoteo disgrega las rocas y el suelo, haciendo que el material suelto sea más fácilmente transportable por el agua y el viento. En forma indirecta, al comer total o parcialmente la vegetación que lo protege, con lo que aumenta la susceptibilidad del suelo a la erosión.

Prácticas agrícolas inadecuadas

La agricultura tradicional en la cuenca, sin un adecuado manejo y conservación de suelos resulta ser peligroso, debido a que acelera el rápido avance de los procesos erosivos que implica un aporte considerable de sedimentos al cauce principal. El acelerado avance de degradación es influencia directa de la agricultura tradicional que se practica en algunas zonas de la cuenca.

3.6. PRINCIPALES FORMAS DE EROSIÓN.

3.6.1 Erosión hídrica

Proceso erosivo causado por la agresividad de la lluvia, debido a características de intensidad, duración y frecuencia asociadas a otros eventos.

3.6.1.1. Factores que intervienen en el proceso de erosión hídrica

- La intensidad y frecuencia de las lluvias
- El relieve del terreno
- La longitud de la pendiente
- La cobertura vegetal
- El tipo de suelo
- El manejo del suelo (www.umss.edu.bo)

3.6.1.2 Indicadores de la erosión hídrica según Herweg karl (1998).

- Rugosidad de la superficie: es un indicador de la erosión pluvial (por chapoteo) y de la erosión laminar. Después de la preparación de la tierra para la siembra o antes de la temporada de lluvias, la superficie contiene agregados cuyos diámetros pueden variar de unos pocos milímetros (mm) a algunos centímetros (cm). Cuanta más arcilla y materia orgánica se encuentra en el suelo superficial mayor es la estabilidad de los agregados; y cuanto más estables son más tiempo es necesario para alisar la superficie. Cuanta más erosión pluvial y laminar hay durante las lluvias más se alisa la superficie. Los agregados se rompen y/o desaparecen, el espacio entre ellos está colmatado con tierra fina, la infiltración de agua en el suelo se bloquea y la escorrentía aumenta.
- Drenaje: es la capacidad del suelo para absorber agua y drenarla hacia el subsuelo. Cuanta más agua pueda infiltrar, menos escorrentía habrá que pueda causar erosión.

- Profundidad del suelo superficial: indica la gravedad de la erosión y la capacidad de infiltración del suelo. No hay una escala general para estimar el impacto de la erosión sobre la profundidad del suelo.
- Textura: es uno de los indicadores más importantes. Contiene mucha información acerca de la erodabilidad del suelo, posibilidad de cambio de cationes, poros y agua disponible, comportamiento de la infiltración, etc.

Los suelos con textura arenosa a limoso en general tienen una mejor infiltración y los suelos arcillosos tienen una infiltración pobre.

- Pendiente: la pendiente es uno de los reguladores de la escorrentía más importantes. Determina la dirección y velocidad y dirige los procesos de desprendimiento, transporte y acumulación de las partículas del suelo, dependiendo del ángulo de la pendiente o gradiente (%), forma de la pendiente y la longitud.
- Vegetación: la vegetación es la mejor protección contra la erosión, cuando cubre el suelo cerca de la superficie. Las plantas más altas como árboles, pero también plantas no tan altas como Sorgo o Maíz, pueden causar grave erosión por salpicadura. El impacto de la salpicadura producida por las gotas que caen de estas plantas se llama goteo y a causa del gran tamaño de las gotas, su impacto puede ser más intenso que el impacto de las gotas de lluvia, sino hay una cobertura adicional directamente en la superficie del suelo (por ejemplo hierbas).

Por esta razón el daño de la erosión depende en gran parte del tipo de planta. Su especificación es importante sobre todo en campos de cultivo. La cobertura vegetal es un indicador en general del efecto protector de las plantas, independientemente del tipo.

La cobertura del suelo tiene una acción protectora por la intercepción y absorción del impacto directo de las gotas de lluvias, previniendo así el sellado de la superficie y preservando la estructura del suelo inmediatamente por debajo de la misma/arg/ags/AGSE): cita a Adams, 1966). De esa manera la infiltración del agua puede ser mantenida a lo largo de la lluvia. Por lo

tanto aumentando la cobertura del suelo se reduce la desagregación y movimiento del suelo por la salpicadura de la lluvia, el promedio de la velocidad y la capacidad de transporte del flujo superficial (Singer *et al.*, 1981). Según Singer y Blackard (1978), el volumen de escurrimiento superficial es afectado por la calidad y la cantidad de residuos a través del retardo en el inicio de la escorrentía.

3.6.1.3. Otros factores o características físicas que influyen en la erosión hídrica del suelo.

➤ Densidad aparente (Da).

Refleja la masa por unidad de volumen de suelo seco y no perturbado porque incluye el espacio poroso (Carvazos, 1992). Es muy variable según el suelo, incluso en cada uno de los horizontes porque depende del volumen de los poros. Si el suelo es compacto, la tasa de densidad sube. Su valor nos permite establecer equivalencias entre las relaciones masa/masa, que son la forma habitual de medir los parámetros del suelo y las masa/superficie que son utilizadas en la aplicación de aditivos al mismo para corregir sus deficiencias (www.unex.es). Los suelos con alta densidad aparente tienen menor porosidad, sin embargo lo que interesa en la porosidad es el predominio de mesoporos y macroporos, que promuevan la infiltración. Esto evita que el suelo se sature rápidamente con agua y ocasione escorrentía que ayudaría a la erosión. (Cortés, 1991)

➤ Capacidad de campo (Capacidad de retención)

Se define como la cantidad de agua que un suelo retiene contra la gravedad cuando se deja drenar libremente. (Carvazos, 1992)

Las diferencias de estructura, entre diferentes capas de suelos tropicales, producen diferencias dramáticas en su capacidad de retención del agua. Los suelos arenosos vacían sus poros de agua gravitacional a tensiones más bajas que los arcillosos. El patrón de retención de humedad de un suelo arcilloso es bastante alto (retiene tanta agua), alcanzando de esa manera su capacidad de campo. Todo este proceso de retención de agua por parte del suelo está asociado a la presencia de coloides, sobre todo los minerales o arcilla, así los suelos arcillosos retienen más agua que los arenosos. ()

- Conductividad hidráulica (capacidad de infiltración).

Es la facilidad del suelo saturado para permitir el paso del agua (Carvazos, 1992). La tasa de infiltración de agua en el suelo determina la rapidez de infiltración de agua en el mismo y, como consecuencia, el volumen de agua que escurre sobre la superficie. La tasa de infiltración de agua en el suelo es condicionada por los siguientes factores: estado de superficie del suelo, tasa de transmisión de agua a través del suelo, capacidad de almacenamiento y características del fluido. La infiltración de agua en el suelo refleja las condiciones de las propiedades físicas (/arg/ags/AGSE)

- Materia orgánica.

La materia orgánica del suelo procede de los restos de organismos caídos sobre su superficie, principalmente hojas y residuos de plantas. Este material recién incorporado es el que se conoce como “materia orgánica fresca” y su cantidad varía con el uso o vegetación que cubra el suelo. La materia viva en el momento que deja de serlo, comienza un proceso de descomposición o autólisis, provocados por los propios sistemas enzimáticos del organismo muerto y otros organismos detritus existentes en el suelo ().

La pérdida de materia orgánica del suelo y el manejo inadecuado de esta, tiene como consecuencia alteraciones en la densidad del suelo, en la capacidad de retención de agua y en la estabilidad de los agregados, que contribuyen a la pérdida de su calidad y de la estabilidad de su estructura (/arg/ags/AGSE)

3.6.1.4. Formas de erosión hídrica.

- Erosión laminar.

Es el arrastre uniforme y casi imperceptible de delgadas capas de suelo por el agua de escurrimiento. Es la forma de erosión menos notable y al mismo tiempo la más peligrosa: Bajo este proceso erosivo, la capa superficial del suelo comienza a mostrar manchas en las pendientes

debido a la pérdida de nutrientes minerales y materia orgánica. Es así que se ha estimado que la erosión laminar de 1 cm de suelo superficial representa la pérdida de 100 m³/ha.

➤ Erosión en surcos.

Es la erosión que se presenta como consecuencia de una fuerte erosión laminar y el mal uso de herramientas de labranza. Ocurre cuando el agua de escurrimiento se concentra en lugares del terreno, hasta adquirir volúmenes y velocidades capaces de hacer cortes en el suelo y formar canales o surcos que se destacan. Esta erosión se facilita en terrenos cultivados en el sentido de la pendiente. En pendientes menores al 20%, estos surcos pueden ser borrados con herramientas de labranza evitando que aumente su tamaño hasta formas cárcavas. Los daños de esta forma de erosión revisten también gravedad, sin embargo, por ser más visibles que la erosión laminar el agricultor le presta atención más oportuna.

➤ Erosión en cárcavas.

Se produce después de la erosión laminar y en surco. Se forman cuando el agua de escurrimiento es mayor, produciendo surcos que se unen y forman zanjás de gran tamaño, conocidas como cárcavas generalmente ramificadas. Estas zanjás no permiten el empleo de yuntas o maquinarias en la preparación del terreno, ni otros trabajos de campo. Tienen en general su origen en las siguientes causas:

- Las depresiones e irregularidades naturales del terreno
- Mayor intensidad y frecuencia de las lluvias
- Falta de corrección oportuna de la erosión en surcos
- Labranza a favor de la pendiente.
- Pisoteo continuo del ganado en praderas sobre pastoreadas. (. Edu.bo)

➤ Erosión pluvial.

Es consecuencia directa del impacto de las lluvias. Donde las gotas de lluvia desprenden las partículas del suelo gracias a la energía cinética asociada a ellas.

- Erosión en terracetas.

Es causada por el ganado vacuno que camina en ladera. (Núñez. 2001)

3.7. IMPORTANCIA DE LA EROSIÓN DE SUELOS EN NICARAGUA Y CENTRO AMÉRICA.

Las principales causas del deterioro de los recursos productivos en laderas en América Central son:

- Uso de la tierra de alto riesgo para la agricultura
- Uso de prácticas inadecuadas
- Descapitalización de los sistemas de producción en laderas

Aspectos influenciados directa o indirectamente por otro entorno socioeconómico, como la tenencia de tierra.

La erosión se considera la forma más importante de la degradación de suelos 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 fuerte a severo

Los efectos del huracán MITCH pusieron de manifiesto el alto grado de vulnerabilidad ambiental de gran parte del territorio nacional evidenciado por los procesos geodinámicos producidos, tales como deslaves, aluviones, procesos erosivos generalizados y otros asociados a los ecosistemas costeros, así como la infraestructura económica que se vio severamente dañada, sin mencionar la irreparables pérdidas de vidas humanas.

Por ello es de suma importancia contar con herramientas que nos permitan hacer evaluaciones del impacto de la tecnología para el manejo de los recursos naturales, tales como:

- Prácticas de uso y manejo de suelos
- Sistema agroforestal

Evaluación de propuestas para el desarrollo de tecnologías y trabajos de investigación, a corto, mediano y largo plazo, de tal manera y/o seleccionar tecnologías apropiadas para las condiciones de vulnerabilidad ambiental prevaleciente en nuestro país (PASOLAC, 1999).

La degradación de los suelos por erosión en el área de estudio (parte alta de la cuenca Estero real) se manifiesta principalmente en la pérdida de la fertilidad y de la capacidad de infiltración y de retención del agua.

La deforestación en áreas de montaña es el principal paso hacia la degradación de los suelos sobretodo en áreas donde el cambio de uso de la tierra fue el motivo principal para la deforestación. El cambio de uso de la tierra con vocación forestal y el uso no sostenible de los suelos posteriormente llevan a una erosión severa con los efectos bien conocidos. Según Spahn, 2000 existen tres procesos principales que llevan a la degradación de los suelos en el área de estudio:

- El uso inadecuado de tierra: Gran parte de los suelos de vocación forestal se han aprovechado para la producción agropecuaria, donde la mayor parte de la tierra esta siendo sobre utilizada, lo que significa que las tierras son utilizadas de una manera inadecuada y causa la destrucción del recurso suelo, debido a la falta de planificación y ordenamiento del uso de la tierra en gran parte de la zona.
- Las prácticas agrícolas no adecuadas como la siembra de granos básicos en áreas de ladera sin obras de conservación de suelos y las quemas agrícolas, provocan un rápido deterioro del recurso suelo. También la ganadería provoca procesos erosivos en áreas con pendientes elevadas.
- El cambio drástico del uso de suelo y las quemas o incendios dejan los suelos sin cobertura vegetal, que en tiempos de lluvias torrenciales causa derrumbes y deslizamientos que conlleva a la pérdida de sustratos esenciales para la producción agrícola o forestal.

3.8. EFECTO DE LA EROSIÓN EN LA AGRICULTURA.

La erosión de suelo es un factor limitante a largo plazo en la agricultura, por la reducción productiva que supone la pérdida de los horizontes más superficiales con el material meteorizado, las partículas de menor tamaño y la materia orgánica y la deposición de los sedimentos en áreas de cultivo dificulta las operaciones agrícolas. La erosión representa también un costo neto para la agricultura en cuanto que significa una pérdida de tierra productiva, así como de nutrientes y materia orgánica que deben sustituirse con fertilizantes, lo que obliga al agricultor a efectuar considerables desembolsos si desea mantener la productividad del suelo, donde se analizan con detalle las consecuencias sociales, económicas y físicas de la erosión de la tierra agrícola, y las medidas que deberán adoptarse para combatir la erosión en diferentes tipos de aprovechamiento de la tierra, especialmente en los países en desarrollo. (www.fao.org/docrep/W2598S)

3.9. VALORACIÓN DEL DAÑO POR EROSIÓN. Según Karl Herweg, 1998.

La pérdida de suelo por erosión hídrica es considerada la principal causa del deterioro de las tierras agrícolas en laderas de América Central. La planificación y diseño de estrategias de conservación de suelos y agua requiere del conocimiento de la envergadura de la erosión. La medición de la erosión es de mucha importancia para determinar el impacto de las prácticas de conservación de suelos y agua. Se han desarrollado varios métodos para medirla, aunque la mayoría presentan cierto grado de complejidad para ser utilizados por promotores de tecnologías de agricultura sostenible en laderas o por técnicos agrícolas en general.

En Nicaragua actualmente existen instituciones gubernamentales y no gubernamentales cuya misión principal es aumentar la adopción de tecnologías de conservación de suelos y agua y han mostrado interés por conocer las tasas de erosión en sus diferentes ámbitos de acción, pero han encontrado que la mayoría de métodos disponibles son muy costosos y proponen resultados a mediano o largo plazo, tal es el caso de las parcelas de escurrimiento y las estaciones de aforo, consideradas como herramientas principales en investigaciones sobre cálculo de la pérdida de suelo por erosión hídrica de tipo laminar.

La pérdida de suelo es el volumen o masa de suelo que ha sido arrastrada por erosión hídrica, la cual se calcula en metros cúbicos (m^3) o toneladas (tn). La pérdida de suelo por parcela se calcula en m^3/ha o t/ha relacionando esta cantidad con el tamaño de la totalidad de la parcela de un uso específico. Esto se hace para poder comparar diferentes parcelas.

Cabe señalar que la erosión de suelo y las pérdidas de suelo no se distribuyen regularmente en el año. El porcentaje más alto de daño por erosión ocurre durante eventos limitados de tormentas intensas (“fuertes o erosivas”). Cuando hay poca cobertura vegetal el riesgo de erosión es particularmente grande; esto ocurre durante la preparación de la tierra en campos de cultivo y algunas veces después de la cosecha si los campos son utilizados como pastos. En pastos, bajo matorral o bosque, la erosión es un problema solamente si hay sobrepastoreo o si falta la cobertura por alguna razón, por ejemplo después de un incendio. (Becerra, 1994).

La erosión del suelo no se distribuye regularmente en una ladera, ni tan siquiera en una parcela. Las tasas más altas de erosión se encuentran cuando la concentración de la escorrentía es tan alta que forma riesgos de erosión visibles y lineales como surcos o cárcavas. La comparación entre datos de surcos, recogidos por trampas de sedimento y parcelas de escurrimiento en Toscana, Italia y Etiopía, indicaron que la erosión lineal (en surcos y cárcavas) podían sobrepasar en mucho la erosión laminar (Herweg, 1993).

Las parcelas de escurrimiento producen datos sobre pérdidas de suelo y agua que están relacionadas con un área bien definida, aislada intencionalmente del ambiente y de los impactos externos como sobreflujo y desbordamiento. La influencia del suelo (textura, densidad aparente, Capacidad de retención, capacidad de infiltración, materia orgánica), de la pendiente, de la vegetación y del tratamiento de la parcela, se mantiene uniforme en la parcela de escurrimiento. Básicamente los resultados (por ejemplo la pérdida de suelo en t/ha), dicen algo sobre la pérdida media en este lugar, sin tomar en cuenta el hecho de que existe una disposición natural, ganancia de sedimento. Debido a la exclusión de los alrededores, las experiencias son controlables, pero la realidad no es reflejada necesariamente.

3.10. NIVELES ACEPTABLES DE EROSIÓN.

El concepto estima la máxima cantidad de suelo que se puede perder por erosión de una parcela, sin sufrir degradación excesiva, a pesar de que se explote agrícolamente en forma continua.

Hudson, 1973; citado por Núñez, 2001, estima que los niveles aceptables o límites tolerables están en función del proceso de formación de suelos, para una región específica. Por esa razón, si el proceso de formación de suelo es de 25 mm de grosor en 30 años el nivel tolerable de pérdida sería de 12.5 tn/ha/año. Por su parte, Gómez Aristizabal; citado por Núñez, 2001, indica que los grados de erosión natural no deben exceder 1.0 tn/ha/año y mantenerse entre valores de 1 a 10 tn/ha/año. En cambio el servicio de conservación de suelos de los Estados Unidos acepta una pérdida de suelo de 10 tn/ha/año (Stocking, 1987; Citado por Carls *et. al.*, 1997).

En realidad, los niveles aceptables de erosión dependen de los procesos de formación de suelo que ocurren en una región. Por lo tanto, la pérdida tolerable depende estrechamente de esos procesos. Los niveles de erosión en Costa Rica (Realizado por Jeffery, Derckse y Somneveld, 1994; citado por Núñez, 2001) se establecen de la siguiente manera:

- **Tolerable (clase 1):** Los índices de erosión abarcan valores de 0 a 10 tn/ha/año.
- **Moderada (clase 2):** Los valores erosivos se sitúan entre 10 y 50 tn/ha/año
- **Severa (clase 3):** Los índices erosivos se encuentran en un ámbito de 51 hasta 200 tn/ha/año.
- **Muy severa (clase 4):** Los valores erosivos exceden 200 tn/ha/año.

Tabla 1. RIESGO DE EROSIÓN LAMINAR DE ACUERDO A LA PERDIDA DE SUELO, PROPUESTA POR LA FAO, 1980; CITADO POR PASOLAC, 1999.

Grados	Perdida de suelo en tn/ha/año	Riesgo de erosión
1	< 0.5	Normal
2	0.5 – 5	Ligera
3	5 – 15	Moderada
4	15 – 50	Severa
5	50 – 200	Muy severa
6	> 200	Catastrófica

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA.

El presente estudio se realizó en el Sauce, municipio del Departamento de León, el cual se encuentra ubicado en la parte noroccidental de Nicaragua en el sector norte del Departamento, entre las coordenadas geográficas 12°53'00" latitud norte y 86°32'00" longitud oeste. Ocupa una extensión territorial aproximadamente de 700 Km², limitando al Norte con Achuapa y Estelí, al Este con los municipios de San Nicolás, Santa Rosa del Peñón y el Jicaral, al Sur con el municipio de Larreynaga y al Oeste con el municipio de Villanueva. Presenta dos formaciones topográficas diferentes: La zona de valle (plana), cuya altitud alcanza hasta los 200 metros sobre el nivel del mar y la zona de cerros cuya altitud varía entre los 200 a 1100 msnm (Alcaldía Mpl. El Sauce, 1999).

La precipitación en El Sauce oscila entre 1000 y 1800 mm durante el año, presentando un período canicular bien marcado entre los meses de julio y agosto. En el año las temperaturas oscilan entre 26°C en tiempo de invierno y 32.2°C en período seco, los suelos van de superficiales a moderadamente profundos, bien drenados, textura franco arcillosa, con abundante piedra superficial y en el perfil del suelo, la topografía que predomina es semiplana a quebrada (Zapata, 1998).

El uso actual que tienen las tierras del municipio se encuentran, Tacotales, combinados con pasto natural; Agricultura temporal con pasto natural; Pasto natural, bosque latifoliado, coníferas, pastos mejorados y bosques de jícaros (Alcaldía Mpl. El Sauce, 1999).

Las parcelas fueron instaladas en la comarca El Salitre, ubicada en la parte norte del municipio, con una extensión territorial de 51 km². Esta comarca presenta condiciones topográficas muy difíciles o sea en pendientes muy escarpadas, mayores al 30%. El deterioro en que se encuentran los suelos producto del despale indiscriminado que se ha realizado en la zona y el mal manejo de los suelos, la ha vuelto la parte más desprotegida y erosionada del municipio (Plan Ambiental).

El área de estudio se encuentra ubicada aproximadamente a 8 Km. del Sauce carretera a Estelí en la finca de los Baquedanos y del Sr. Hilario Ramírez. Las fincas presentan un sistema terrestre de ladera y las actividades productivas que se llevan a cabo en ellas son la agricultura y ganadería además presentan áreas de bosques secundarios.

4.2. MATERIALES UTILIZADOS.

- Zinc: Se utilizaron laminas de Zinc liso cortadas por mitad a lo largo del tamaño de la lamina, con las cuales se cercaron tres lados de las parcelas para evitar entrada de sedimento y agua ajenos a cada una de las parcelas en experimento.
- Tijeras: Se utilizaron tijeras para cortar las láminas de zinc.
- Machetes: Fueron utilizados para limpiar el perímetro de cada una de las parcelas donde se iba a cercar y para cortar las estacas, entre otros usos.
- Estacas de madera: Se utilizaron estacas cortadas de ramas de árboles con un diámetro aproximado de 15 cm de diámetro y 1.30 m aproximadamente de largo, los cuales fueron enterrados de manera que quedaran firmes para luego clavar el zinc y cercar cada una de las parcelas experimentales.
- Clavos: Se utilizaron clavos de 2.5 pulgadas para clavar el zinc al momento de la elaboración del cerco de cada parcela.
- Palas, piochas (picos) y barras: Estos materiales fueron utilizados por las personas que trabajaron en la excavación del pozo de recepción en cada una de las parcelas y también fueron utilizados para hacer los hoyos donde se establecieron las estacas para cercar.
- Plástico negro: Se utilizó plástico negro del calibre más grueso (resistente) para cubrir el pozo de recepción en el cual caería el agua y los sedimentos en cada una de las parcelas.
- Baldes (bidones), paños y palas plásticas manuales: Estos materiales fueron utilizados para sacar el agua y recolectar los sedimentos caídos en los pozos de recepción de cada una de las parcelas.
- Bolsas plásticas: Estas se utilizaron para almacenar los sedimentos que se recolectaban en cada pozo de recepción.
- Balanza (Lbs): Se utilizó para pesar los sedimentos recolectados una vez que ya estaban secos.

- Marcadores: Se utilizaron para marcar cada una de las muestras de sedimentos, con sus respectivos nombres de cada parcela (tipo de uso de suelo), pendiente y fecha de recolección.

4.2 DISEÑO DEL ÁREA DE ESTUDIO.

En la zona se ubicaron un total de 6 microparcels experimentales, las cuales están distribuidas en áreas de laderas, teniendo pendientes y coberturas diferentes para cada parcela, el diseño de la micro parcela utilizada en la investigación presentaba una superficie de 50 m² y un pozo de recepción de sedimentos, con una capacidad de 10 m³ (Fig. 1). (Castillo x, 2004).

Las microparcels se cercaron con zinc liso (50 cm. de altura), 3 de sus lados para evitar entrada de sedimentos ajenos al área de la microparcels en estudio, dejando sin cercar el lado de la parte baja sin cerco de zinc que es donde se construye el pozo de recepción de sedimentos, cubriendo las paredes y la base con plástico negro con el propósito de captar toda el agua y sedimentos de la microparcels, (Fig. 1).

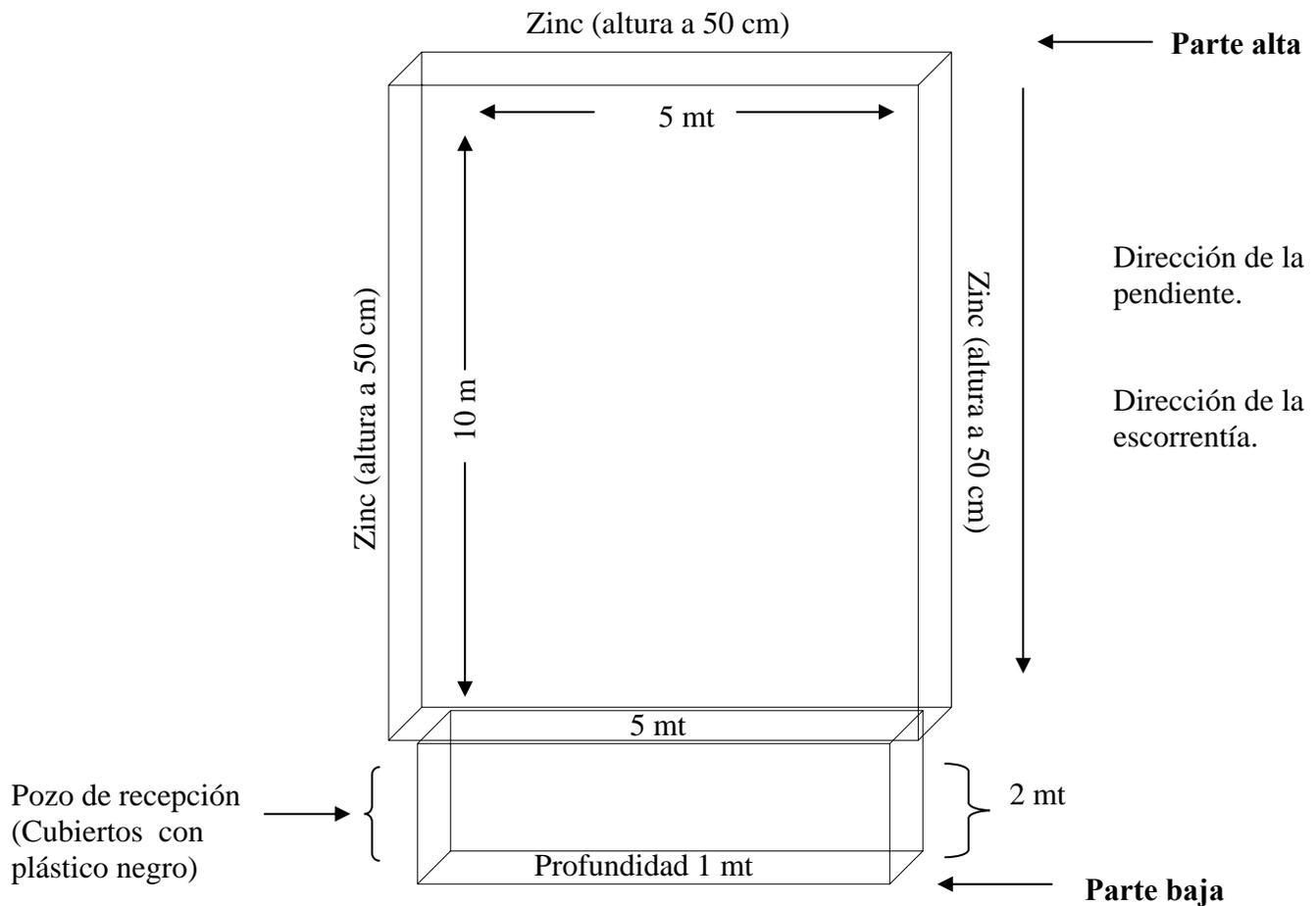


Fig. (1). Diseño de las parcelas experimentales.

4.4. VARIABLES A ESTUDIAR.

- Cantidad de material superficial arrastrado (sedimentos).
- Cantidad de lluvia (precipitación).
- Tipo de usos del suelo (área agrícola, área ganadera o de pastoreo y área de bosque).
- Pendiente (áreas entre 15 – 30 % y mayores de 50 % de pendiente).
- Densidad Aparente del suelo de cada parcela.
- Capacidad de Retención.
- Capacidad de Infiltración.
- Textura.
- Materia Orgánica.

El análisis para determinar textura y materia orgánica fueron realizados en el laboratorio de suelos “LAQUISA”.

El método utilizado para determinar la densidad aparente, la capacidad de retención y la capacidad de infiltración: fue el método de muestras inalteradas

4.5. ESTABLECIMIENTO DE LAS MICROPARCELAS A ESTUDIAR.

Se establecieron 3 microparcels en la finca del Sr. Teodoro Baquedano y 2 parcelas frente a la finca de este mismo, donde un hermano de él y 1 parcela en una finca vecina propiedad del señor Hilario, para un total de 6 parcelas experimentales.

Las microparcels se establecieron de forma conveniente, de acuerdo al tipo de pendiente y usos del suelo. Para lograr esto primero se construyó un nivel o aparato “A” para medir la pendiente (en porcentaje). El nivel “A” se construyó con dos reglas de madera dispuestas en forma triangular con una separación de 2 metros entre cada extremo inferior y una regla de madera transversal a la forma triangular, instalada en el centro, que genera una configuración en forma de “A”. La regla transversal se nivela por medio de una pesa que se une en su vértice superior. Luego se procedió a buscar cada una de las parcelas según el tipo de uso del suelo (Agricultura, Ganadería y Bosque), ubicando dos parcelas para cada uso de suelo (Una entre 15 – 30 % y otra mayor de 50 % de pendiente), quedando ubicada cada una de las parcelas experimentales de la siguiente manera:

Tabla 2. UBICACIÓN DE CADA UNA DE LAS PARCELAS EXPERIMENTALES SEGÚN LA PENDIENTE Y EL TIPO DE USO DEL SUELO. (EL SUACE, 2005)

Parcela N°	Pendiente %	Uso del suelo
1	54.3%	Área agrícola *
2	21.4%	Área agrícola
3	57.2%	Área ganadera (pastoreo)
4	24.6%	Área ganadera (pastoreo)
5	54.7%	Área de bosque
6	29.9%	Área de bosque

(* Instalada en el 2004)

El método utilizado para calcular el desnivel o porcentaje de pendiente se realizó colocando el aparato “A” a nivel con un extremo (pata) en el suelo y el otro en el aire apuntando pendiente abajo. Se mide con una cinta métrica la distancia entre el suelo y el extremo que está en el aire. El resultado leído en centímetro (cm) se divide entre 2 (distancia en metros entre los dos extremos inferiores) y nos da el porcentaje de pendiente. El porcentaje de pendiente de un terreno es el número de metros que uno baja o sube en altura, cada vez que camina 100 m. en el sentido de la pendiente. Para tomar la pendiente en cada una de las parcelas se repitió este procedimiento tomando 5 puntos y luego se sacó el promedio.

Descripción de la cobertura

Los tipos de cobertura o plantas existentes en cada una de las parcelas experimentales fueron las siguientes:



- En la parcela de agricultura con pendiente 54.3 %, no existía ningún tipo de cultivo (pero anteriormente se había sembrado frijol y maíz al espeque) solo existía vegetación de matorral que crecía de forma natural, en esta parcela la mayoría de las plantas presentaban raíces pivotantes con enraizamiento algo profundo y crecimiento arbustivo como carbón (*Acacia pennatula*), cornisuelo (*Acacia hindsii Benth*), sardinillo (*Tecoma stans L.*), escoba negra (*Sida acuta*), Cinco negrito (*Lantana camara*), flor amarilla (*Baltimora recta*) y bledo (*Amaranthus spinosus*). (Foto Parcela 1)

- En la parcela de agricultura con pendiente de 21.4 %, se encontraba establecido un cultivo de maíz sembrado al espeque (cero labranza) que estaba en sus primeras etapas de desarrollo, entre el cultivo crecía abundante cantidad de malezas como sacate estrella (*Cynodon nlemfuensis*), sacate jaragua (*Hyparrhenia rufa*), grama de conejo (*Oplismenus burmannii*), Batatilla (*Ipomoea nil*) y, que proporcionaban una buena cobertura al suelo, se arrancaron algunas malezas para ver el tipo de sistema radicular y la mayoría tenía sistemas radiculares fasciculados con enraizamiento y crecimiento superficial. (Foto Parcela 2)
- En la parcela de ganadería con pendiente de 57.2 % existía pasto natural como sacate estrella (*Cynodon nenufluensis*), grama de conejo (*Oplismenus burmannii*) y otras plantas de crecimiento y enraizamiento superficial fasciculado como batata (*Ipomoea nil*), dormilona (*Mimosa pudica*), además de otras plantas como frijolillo (*Leucaena shannoni*) y escoba negra (*Sida acuta*). (Foto parcela 3)



- Mientras que en la parcela de ganadería con pendiente de 24.6 % crecían algunas plantas arbustivas con una altura aproximadamente de 1 – 2 metros, como guayabillo (*Myrcianthes fragans*), frijolillo (*Leucaena shannoni*), y pocas plantas de porte bajo como dormilona (*Mimosa pudica*) y cola de garrobo (Foto Parcela 4).
- En el caso de las parcelas de bosque (Tanto la de 29.9 % como la de 54.7 % de pendiente), el tipo de bosque presente en el lugar donde se llevo acabo la instalación de

estas, esta catalogado como bosque secundario o tocotal, debido a que se ha venido dando una fuerte y continua intervención por parte del hombre. El tipo de vegetación que estas parcelas presentaban, estaba constituido solo por plantas de gran tamaño con enraizamiento profundo, como pochote (*Bombacopsis quinata*), carao (*Cassia grandis L.F.*), jiñocuabo (*Bursera simarouba*), madroño (*Calycophyllum candidissium*), Quebracho (*Lysiloma auritum*), guanacaste (*Albizia caribaeae*), guasimo de ternero (*Guasuma ulmifolia Lam*), laurel negro (*Cordia alliodora*), nancite (*Byrsonima crassifolia L.*), jobo (*Spondias Bombin L.*) y cornisuelo (*Acacia hindsii Benth*), los cuales proporcionaban abundante sombra que impedía el desarrollo de plantas de menor tamaño (como hiervas), por lo que existía poca vegetación sobre la superficie del suelo. (Foto parcela 5 y 6)



4.6. RECOLECCIÓN DE DATOS

Se realizaron visitas aproximadamente cada 20 días a cada una de las parcelas donde se observaron la estabilidad de estas bajo condiciones propias de la zona de estudio.

El suelo arrastrado ya depositado en el pozo de recepción fue recolectado, para esto se dejaba el material sólido en el fondo y se sacaba el agua con cuidado, luego sacábamos el material sólido. El suelo recogido se transportaba a un lugar donde se dejaba secando para luego ser pesado.

Para recolectar datos de la precipitación se utilizó un pluviómetro que se ubicó en la zona de estudio y se tomó la cantidad de agua en milímetros (mm), caída después de cada lluvia de la cual se llevaron registros diarios y así sacar el régimen anual de precipitación y hacer una relación de la pérdida de suelo con respecto a la precipitación anual, la pendiente y usos del suelo del cual depende el tipo de vegetación.

4.7. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el análisis de los resultados se tomaron muestras de suelo las cuales fueron llevadas al laboratorio (LAQUISA Y UNAN – LEÓN) en donde se realizaron análisis correspondientes (Densidad Aparente, Capacidad de Campo, Conductividad Hidráulica, Textura, Materia orgánica), estas características físicas son parámetros o variantes utilizados para ayudar a un mejor análisis de los resultados y complementarlos con las variables (Cantidad de suelo erosionado, precipitación, pendiente y explotación o usos del suelo) estudiadas.

Las Características físicas del suelo como Densidad Aparente, Capacidad de Campo, Conductivita Hidráulica, Textura y Materia Orgánica son parámetros o variantes que tienen una gran influencia en los procesos erosivos, por tal razón se utilizaron para dar un mejor análisis de los resultados al igual que el tipo de vegetación que esta en dependencia del uso que se le da al suelo.

Los datos obtenidos de pérdidas de suelo y de la cantidad de lluvia caída en la zona de estudio fueron procesados en el programa Excel y presentados en tablas y gráficos.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. CANTIDAD DE PRECIPITACIÓN OBTENIDA DURANTE LOS 6 MESES DE EVALUACIÓN.

Tabla 3. PRECIPITACIÓN REGISTRADA ENTRE LOS MESES DE JUNIO – NOVIEMBRE DEL 2005.

Periodos	Cantidad de lluvia caída (mm)	Intensidad promedio (mm/hr)	Intensidad máxima (mm/hr)	Intensidad mínima (mm/hr)
Junio	160	17.06	34.94	5.3
Julio	376.5	34.89	187.5	7
Agosto	329	32.1	71.2	2.5
Septiembre	218.5	27.04	75.8	2.6
Octubre	667.5	18.32	37.6	6.5
Noviembre	28	32	46.8	24.2
Suma	1779.5			
Promedio mensual	296.58	26.9		

El comportamiento de la precipitación mensual en este año, presento rangos desde 28 mm (mes de noviembre) hasta un máximo de **667.5** mm (octubre). Los meses de Julio y Octubre fueron los que mayor cantidad de precipitación obtuvieron, sin embargo la intensidad de lluvia en el mes de octubre se encuentra entre las mas bajas con 18.32 mm / hora, similar al mes de junio (17.06 mm/hr), es decir que el efecto erosivo por precipitación en estos meses fue menor. Las intensidades de lluvia más fuerte se presentaron en los meses de julio, agosto y noviembre con 34.89, 32.1 y 32 mm/hr respectivamente, por lo que el efecto erosivo influenciado por precipitación en estos meses fue mayor. La lluvia más fuerte presentada en todo el año ocurrió en el mes julio con una intensidad de 187.5 mm/hr, en cambio la lluvia con menor intensidad se presento en el mes de agosto con 2.5 mm/hr. Sin embargo, independientemente del régimen de agua y de la pendiente de cada una de las parcelas, uno de los factores que más influyo en el proceso de erosión, fue el tipo de vegetación, su densidad por área y sus características, como tamaño y el sistema radicular que las diferentes plantas presentaban, además de las características físicas del suelo, como Densidad Aparente, Capacidad de Campo, Conductividad Hidráulica, Textura y Materia Orgánica.

5.2. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA LLUVIA Y SUELO EROSIONADO EN LAS PARCELAS DE ESCORRENTÍAS.

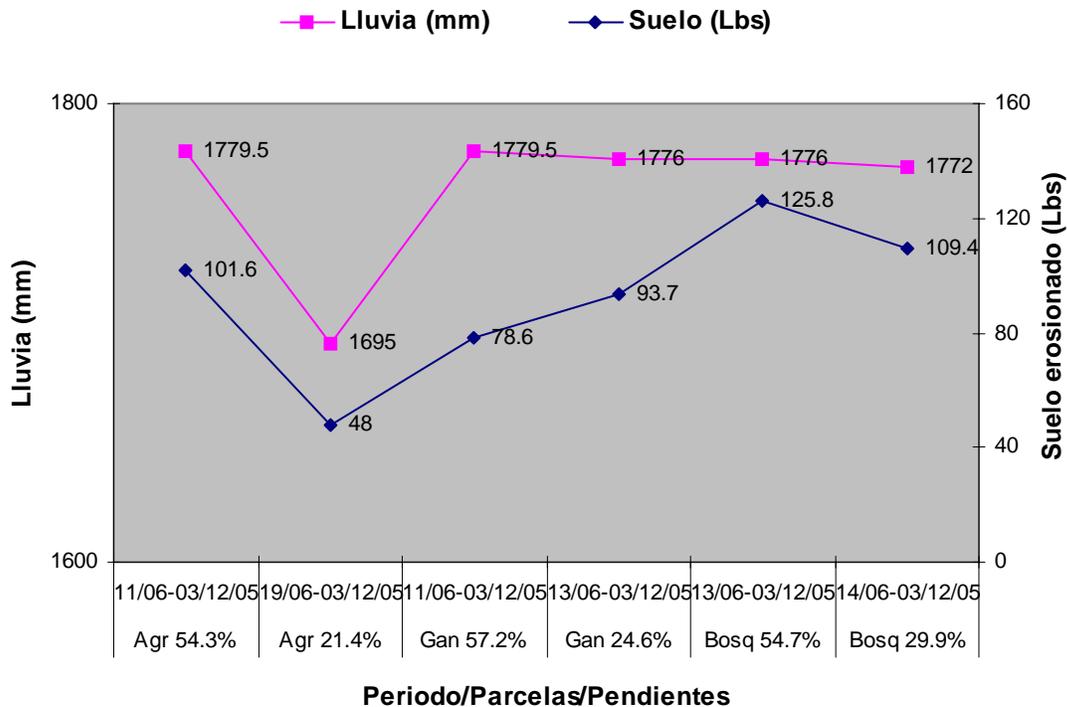


Grafico 1. Cantidad de lluvia caída y de suelo erosionado en cada parcela

Con respecto a los resultados obtenidos de **precipitación y de pérdidas de suelo** por erosión podemos observar en el grafico 1, que no todas las parcelas tuvieron el mismo régimen de lluvia en todo el periodo de estudio, esto se debió a que no todas las parcelas fueron establecidas en la misma fecha. En el caso de la parcela de Agricultura con pendiente de 54.3 % esta ya estaba instalada desde un año atrás (2004), por lo tanto solo se le hicieron algunas reparaciones y se empezaron a tomar los primeros datos días antes (desde 2 hasta 8 días antes) que las demás parcelas, es por eso que tiene un periodo registrado desde el 11/06/05 hasta el 03/12/05. En cambio la parcela de Agricultura con pendiente de 21.4 % fue una de las ultimas en ser establecidas por lo tanto tiene un periodo registrado desde 19/06/05 hasta el 03/12/05.

Se puede ver en el grafico 1 que las cantidades de suelo erosionado no solamente dependen de la cantidad de lluvia caída y de la pendiente, sino también de la susceptibilidad que tiene el suelo a

la erosión, debido a diferentes factores, como, características físicas del suelo, la vegetación y las diferentes características que presentan las plantas que la conforman, por ejemplo en el caso de la parcela de agricultura con pendiente de 54.3 % tuvo un régimen de agua de 1779.5 mm durante todo el periodo de estudio y se erosiono 101.6 libras de suelo al año en 50 m² (tamaño de cada una de las parcelas experimentales), que equivalen a 9.24 tn/ha/año (ver tabla 4). Mientras que en la parcela de Bosque con pendiente de 29.9 % tuvo un régimen menor de lluvia (1772 mm, durante el periodo estudiado) y la cantidad de suelo erosionado fue de 109.4 lbs al año que equivalen a 9.95 tn/ha/año (ver tabla 4), siendo mayor que la parcela de Agricultura con pendiente de 54.3 %.

Tabla 4. CANTIDAD TOTAL DE SUELO PERDIDO POR EROSIÓN EN CADA UNA DE LAS PARCELAS.

Parcelas	Valor de la Pendiente	Suelo arrastrado	
	(%)	qq/mz/año	tn/ha/año
Agricultura	54.3	142.84	9.24
Agricultura	21.4	67.45	4.36
Ganadería	57.2	110.45	7.14
Ganadería	24.6	131.67	8.52
Bosque	54.7	176.77	11.44
Bosque	29.9	153.8	9.95

Según los datos obtenidos, se puede observar en la tabla 3, que las tasas mas altas de perdidas de suelo por erosión, en el sector de Salitre, se dieron en la parcela de bosque con pendiente de 54.7 %, alcanzando 11.44 tn/ha. Mientras que la menor perdida de suelo obtenida, fue en la parcela de agricultura de 21.4 % con 4.36 tn/ha.

Según los niveles de erosión establecidos en Costa Rica por Jeffery, Derckse y Somneveld en 1994; (citado por Núñez, 2001), los suelos de la zona de estudio se ubicarían en la clase 1 y 2 (**Clase 1**; erosión tolerable con perdidas entre 0 - 10 t/ha/año y **Clase 2**; erosión moderada con perdidas entre 10 – 50 tn/ha/año). Esto a su vez concuerda con lo publicado por la FAO en 1980 (Citado por PASOLAC, 1999), en donde los rangos obtenidos de perdidas de suelo en la zona de estudio (4.36 – 11.44 tn/ha/año), están dentro de los grados de erosión 2 y 3, considerando un riesgo de erosión laminar que va de ligero a moderado (Tabla 1).

5.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS DEL ÁREA DE ESTUDIO.

La densidad aparente de los suelos en estudio oscilaron entre 0.926 y 1.35 gr/cm³. En las capas superficiales (20 cm) se presentaron densidades bajas, aumentando esta levemente en las capas de 40 cm de espesor. Esto se debe a la presencia de la materia orgánica en la superficie del suelo, la cual influye aumentando el volumen del suelo, pero no su peso. (Fassbender *et. all.* 1987). Las densidad aparente más baja se observaron bajo el sistema de bosque con pendiente de 54.7 %. (Tabla 6).

Tabla 5. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS SUELOS DEL ÁREA DE ESTUDIO (LAB. DE SUELOS UNAN-LEÓN)

Parcelas	Pendiente	Profundidad de la muestra	Densidad aparente (DA)	Capacidad de retención	Capacidad de infiltración
	(%)	(cm)	(gr/cm ³)	(%)	(ml/min)
Agricultura	54.3	20	0.978	51.74	15.50
		40	1.039	51.2	9.50
Agricultura	21.4	20	1.084	45.76	12.0
		40	1.161	41.6	6.30
Ganadería	57.2	20	1.103	45.15	1.40
		40	1.245	37.11	0.34
Ganadería	24.6	20	1.062	49.34	0.60
		40	1.019	51.23	1.90
Bosque	54.7	20	0.926	60.58	10.20
		40	0.932	55.9	19.30
Bosque	29.9	20	1.264	37.74	0.03
		40	1.354	33.82	0.024

Es sobre esta misma parcela (Bosque 54.7 %) en donde se presentó la más alta **capacidad de retención** de agua (60.58 %), lo que está relacionado con densidades bajas debido a la alta presencia de materia orgánica, que proporciona al suelo volumen pero no peso. La capacidad de infiltración se encuentra lenta en general a los 40 cm de profundidades en este suelo, con valores que oscilan entre 0.024 – 9.50 ml/min.

En la tabla 6, se pueden observar los contenidos de materia orgánica, arcilla, limo y arena, que poseen cada uno de los suelos en donde se realizó el presente estudio. Así como también, los diferentes tipos de textura que estos presentan en relación a su porcentaje de partículas (arcilla, limo y arena) que poseía cada tipo de suelo. El tipo de textura encontrado en estos suelos va de **franco a arcilloso**, siendo la textura predominante, la franco – arcilloso.

Tabla 6. TEXTURA PREDOMINANTE EN LOS SUELOS DEL ÁREA DE ESTUDIO (LAB. LAQUISA, 2005)

Parcelas	Pendiente	Materia orgánica	Arcilla	Limo	Arena	Textura
Agricultura	54.3	2.0	27.76	32	40.24	Franco
Agricultura	21.4	2.46	20.76	25	54.24	Franco – Arcilloso – Arenoso
Ganadería	57.2	2.3	37.76	30	32.24	Franco – Arcilloso
Ganadería	24.6	2.7	38.76	29	32.24	Franco – Arcilloso
Bosque	54.7	4.8	27.76	26	46.24	Franco – Arcilloso - Arenoso
Bosque	29.9	2.8	41.76	22	36.24	Arcilloso

El cuanto al porcentaje de partículas (Materia orgánica, arcilla, limo y arena) que presentan los diferentes suelos en estudio, se puede ver que estos poseen cantidades bastantes similares en relación a su contenido, como por ejemplo el contenido de materia orgánica en la mayoría de los suelos se encuentra en un porcentaje que va de 2.0 a 2.8 a excepción de la parcela de bosque con pendiente de 54.7 % la cual alcanzo un porcentaje mayor, de 4.8. Esto mismo ocurre tanto en el contenido de arcilla como el de limo y arena, los cuales alcanzan cantidades bastantes similares.

5.4. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

En base a los resultados obtenidos de las cantidades de suelo erosionado y de las características físicas presentadas en cada una de las parcelas experimentales y a nivel de hectárea, podemos decir que los mayores niveles de erosión para las parcelas con pendientes mayores del 50%, se presentaron en la parcela de bosque (11.4 tn/ha/año, con precipitación de 1776 mm), seguido de la parcela de agricultura con 9.24 tn/ha/año, con precipitaciones de 1779.5 mm, y la que presento

menores pérdidas de suelo fue la de Ganadería con 7.14 tn/ha/año, y precipitación de 1779.5 (ver tabla 4).

En la parcela de bosque (54.7 % de pendiente) el tipo de vegetación existente estaba formada por plantas altas y de sistemas radiculares profundos, como árboles de guasimo, quebracho, laurel, nancite, jobo y algunos arbustos de carbón y cornisuelo, presentando muy poca vegetación superficial que amortiguara el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo y que a su vez disminuyera la velocidad del agua de escorrentía y su poder erosivo. Debido a esto se dieron graves problemas de erosión por salpicadura, provocados por las grandes gotas de agua que se formaban en las plantas altas y caían sobre el suelo generando un impacto mas intenso que el impacto de las gotas normales de lluvia, cuando no existe una cobertura vegetal directamente sobre la superficie del suelo (Herweg, 1998), la cobertura superficial en cambio no permite que las gotas de agua choquen directamente contra la superficie del suelo, previniendo la ruptura de los agregados y evitando la salpicadura de partículas finas que originan el sellado y taponamiento de los poros superficiales del suelo (FAO – INTA, 1999).

A causa de esto, aunque el tipo de suelo es Franco-Arcilloso-Arenoso (tabla 7), con una Densidad Aparente de 0.926 y 0.932 gr/cm³ a profundidades de 20y 40 cm respectivamente (tabla 6), una Capacidad de Retención de 60.58 y 55.90 % a profundidad de 20 y 40 cm respectivamente (tabla 6) y con un buen porcentaje de Materia Orgánica de 4.8 % (Tabla 7) inicial, a medida que el periodo de lluvia aumentaba la superficie del suelo sufría el arrastre de Materia Orgánica (estable y en descomposición; hojas, ramas, etc.) y la ruptura de los agregados y por ende la salpicadura de las partículas finas provocaron el sellado y taponamiento de los poros superficiales del suelo, ocasionando una infiltración de 10.2 ml/min en la capa superficial del suelo (a 20 cm de profundidad), siendo menor, que en la capa a 40 cm de profundidad con 19.3 ml/min (tabla 6), provocando la saturación del suelo y formándose la escorrentía, lo que conlleva al arrastre de sedimentos, siendo esta parcela (Bosque 54.7 % de pendiente) la que presento mayor nivel de erosión, en comparación con las otras parcelas mayores de 50 % de pendiente (Ver tabla 4).

En las parcelas de agricultura y ganadería (54.3 y 57.2 % de pendiente respectivamente) se produjo una menor erosión debido a la abundante vegetación que creció de forma natural dentro de las parcelas la cual protegió al suelo del impacto directo de las gotas de lluvia, debido a su densidad por área y su follaje. Simultáneamente sus raíces favorecen la retención del agua y

regulan el flujo y velocidad de escorrentía, debido a que constituye un obstáculo que disipa la fuerza del agua que escurre (Núñez, 2001). La parcela de agricultura a pesar que tiene muchas características que la favorecen mas que a la parcela de ganadería, como baja Densidad Aparente, buena capacidad de retención, una alta Capacidad de infiltración (tabla 6), buena textura (tabla 7) y con una menor pendiente, esta sufrió una mayor erosión que la parcela de ganadería (Ver tabla 4). Este resultado estuvo influenciado grandemente por el tipo de plantas existente en ellas, ya que, la mayoría de las plantas existentes en la parcela de agricultura, como carbón, cachito, sardinillo, escoba negra, Cinco negrito, flor amarilla y bledo, presentaban en su mayoría crecimiento arbustivo y sistemas radiculares pivotantes.

En cambio en la parcela de ganadería existían plantas que presentaban raíces fasciculadas con enraizamiento y crecimiento superficial, como pasto estrella, grama de conejo, batata y dormilona, además de plantas con crecimiento arbustivo de porte bajo, como escoba negra, frijolillo, creciendo en forma de matorral, este tipo de cobertura ayudó a retener mejor el suelo, además que esta parcela (ganadería de 57.2 % de pendiente) presento mayor porcentaje de materia orgánica (2,3 %) en comparación con la parcela de agricultura con pendiente de 54.3% (ver tabla 7), todo esto favoreció a una buena estabilidad de los agregados del suelo y a formar una superficie rugosa que disminuyera la velocidad del agua de escorrentía y por ende el proceso erosivo (www.fao.org/arg/ags/AGSE), independientemente que las dos parcelas tuvieran el mismo régimen de lluvia (Ver tabla 4).

Para las parcelas con pendientes de 15 – 30 %, los mayores niveles de erosión, se presentaron en la parcela de bosque con una perdida de suelo de 9.5 tn/ha al año, con una precipitación de 1772 mm, durante el periodo de estudio, seguido de la parcela de Ganadería con 8.52 tn/ha/año, con precipitación de 1776 mm, y en menor cantidad la parcela de agricultura con 4.36 tn/ha/año de suelo perdido, con precipitaciones de 1695 mm (ver tabla 4).

Para el caso de la parcela de bosque con pendiente de 29.9 %, la cual alcanzo cantidades de suelo erosionado similares (tabla. 4) y en algunos casos superiores a las cantidades de suelo perdido en las parcelas con pendientes mayores de 50 %. Además de la influencia ejercida por la vegetación, como es la escasez de plantas superficiales capaces de impedir el impacto directo de las gotas de agua de lluvia contra el suelo y reducir la velocidad y formación del agua de escorrentía, por estar

formada por plantas de gran tamaño y enraizamiento profundo, como: pochote, carao, jiñocuabo, madroño, Quebracho, guanacaste, guasimo de ternero, laurel negro, etc., que por efecto de sombra impidieron el crecimiento de vegetación superficial. A esto se sumo la baja capacidad de infiltración en la capa arable del suelo (0.03 ml/min) que poseía cada una de ellas (ver tabla 6) y los altos contenido de arcilla que presento (41.76%; ver tabla. 7), dando como resultado suelos de textura arcillosa con una baja capacidad de infiltración y propensos a la formación de escorrentía. Todos estos factores impidieron la adecuada penetración del agua de lluvia, favoreciendo la formación de escorrentía y el arrastre de las partículas de suelo, en cantidades que se asemejan a las parcelas de mayor pendiente.

La parcela de ganadería con 24.6 % de pendiente presento cantidades de suelo que superan o alcanzan niveles parecidos de erosión a los presentes en las parcelas de mayor pendiente (> 50 %). Esto se debió a la baja capacidad de infiltración (0.6 ml/min; ver tabla. 6) que esta presento, lo que impidió la adecuada penetración del agua hacia las capas mas profundas del suelo, además de la cobertura vegetal que existía en ella, la cual estaba formada por algunas plantas arbustivas y de enraizamiento profundo, bastantes distanciadas entre si y una altura aproximadamente de 1 – 2 metros, como guayabillo, frijolillo, y muy pocas plantas de porte bajo como dormilona y cola de garrobo, las cuales no presentaban un buen obstáculo para disminuir la velocidad y formación de la escorrentía, al no haber una cobertura vegetal mas superficial y una buena capacidad de infiltración, que favoreciera la adecuada penetración del agua, e impidieran la formación de escorrentía y por ende la disminución del proceso erosivo, se presentaron niveles de erosión semejantes a los de las parcelas con pendientes mayores de 50 %.

En cambio la parcela de agricultura con 21.4 % de pendiente, esta presento una buena capacidad de infiltración (12 ml/min; ver tabla. 6) a demás de una textura Franco – Arcilloso – Arenoso, la cual poseía bajos porcentajes de arcilla (20.78 %; ver tabla 7) en comparación con las demás parcelas. Además de una abundante cobertura superficial del suelo, proporcionada por el cultivo de maíz y las malezas como zacate estrella, zacate jaragua, grama de conejo y Batatilla (Plantas de enraizamiento superficial fasciculado) que crecían de forma natural entre el cultivo, las cuales además de disminuir la velocidad del agua de escorrentía, redujeron en gran medida el proceso erosivo, permitiendo que la tasa de erosión fuese la mas baja de todas las parcelas en estudio (Ver tabla 4).

VI. CONCLUSIONES

- En la parcela de bosque con pendiente de 54.7 %, se dio el volumen mas alto de suelo perdido por erosión hídrica con 11.44 tn/ha/año, con una precipitación de 1776 mm durante el periodo de estudio. Mientras que el volumen mas bajo de perdida de suelo por erosión hídrica se dio en la parcela de agricultura con pendiente de 21.4 %, con 4.36 tn/ha/año, con precipitaciones de 1695 mm durante el periodo de estudio (ver tabla 4).
- Las tasas de perdida de suelo por erosión en el sector de salitre varían en rangos de 4.36 a 11.44 tn/ha/año, influenciadas grandemente por el tipo de uso que se le da al suelo y por ende la vegetación existente en estos, teniendo menor influencia la pendiente, tal es el caso de las dos parcelas de ganadería, donde, la de menor pendiente tuvo tasas mas altas de erosión que la de mayor pendiente (ver tabla 4),
- Otro factor importante son las características físicas que presentan los suelos de cada una de las parcelas (ver tabla 6 y 7), que asociados con la precipitación y su intensidad, la pendiente y las características del tipo de vegetación, definen la susceptibilidad del suelo a los procesos erosivos.
- Los valores de perdidas de suelos obtenidos en el estudio, dan cuenta que el sector presenta procesos de degradación que van de ligera a moderada (Ver tabla 1), lo que demuestra que las practicas de cobertura y por consiguiente las practicas de conservación de suelo, reducen significativamente la erosión.
- Las parcelas de bosque, independientemente de la pendiente, fueron las que presentaron las tasas más altas de perdidas de suelo por erosión hídrica (ver tabla 4). Esto se debió a la poca cobertura existente sobre la superficie del suelo, donde el impacto de la salpicadura producido por las gotas de gran tamaño, que caen de las plantas altas, es más intenso que el impacto de las gotas de lluvia, si no hay una cobertura adicional en la superficie del suelo.

- El uso y cobertura de la tierra influye de manera directa en los procesos de erosión, es así que en parcelas donde existe abundante vegetación se presentan tasas de erosión bajas, como en el caso de la parcela de Agricultura con pendiente de 21.4 % y Ganadería con 57.2 % de pendiente, las cuales presentaron muy buena cobertura superficial y de tipo matorral, en comparación con las otras parcelas que carecían o presentaban menor cantidad de vegetación superficial.

- En cuanto a la cantidad de precipitación existieron algunas diferencias que influyeron un poco en la cantidad de suelo perdido por la erosión, esto debido al tiempo en que se establecieron cada una de las parcelas.

VII. RECOMENDACIONES

- Los valores de pérdidas de suelos obtenidos en el estudio, dan cuenta que el sector presenta procesos de degradación que van de ligera a moderada (Tabla 1), lo que demuestra la necesidad de realizar prácticas de conservación de suelo, para reducir significativamente la erosión.

- Realizar estudios sobre erosión en cárcavas y surcos, para así consolidar la información brindada por las parcelas de escurrimiento, debido a que los datos que se obtienen de estas parcelas, producen información relacionadas a áreas definidas.

- Formar grupos de productores que con ayuda de la alcaldía y demás organizaciones que trabajan en la zona, fomenten el uso de prácticas de manejo y conservación de suelos en áreas de laderas y de esta forma lograr disminuir los niveles de erosión.

- Realizar el establecimiento de las parcelas de escurrimiento antes que inicie el periodo de lluvia y así llevar registros de lluvia y de pérdidas de suelo a partir de la misma fecha.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía Municipal, El Sauce – León, 1999. Plan Estratégico de Desarrollo Municipal. Consejo Municipal, Alcaldía de El sauce, 55p.
- Becerra Moreno, A., 1994. Erosión de Suelo. Apuntes de la primera parte del curso de conservación de suelo, Universidad Autónoma de Chapingo. 105p.
- Carls Jurgen, Reiche Carlos y Jáuregui Mario, 1997. Experiencias Internacionales en Protección de Suelos. San José, Costa Rica: IICA / BMZ / GTZ. Pág.; 5 – 7.
- Carvazos Teresita y Rodríguez Octavio, 1992. Manual de Practicas de Física de Suelos. 1ª. Ed. México: Trillas: Escuela Superior de Agricultura. Hermanos Escobar. 99p.
- Castillo Paulina, C., 2000. El estudio del suelo como recurso natural renovable. Organización de Estados Americanos (OEA). Panamá.
- Castillo, Xiomara, 2004. Validación de la metodología para la determinación de la erosión del suelo. PROCHILEÓN / UNAN – LEÓN.
- Cortes, V., 1991. Erosión hídrica de suelos hortícolas: El caso de Cot y Tierra Blanca. Cartago, Costa Rica. Geostmo 1,2. Págs.; 135 –156.
- FAO – INTA, 1999. Manejo integrado de la fertilidad de los suelos de Nicaragua. Manual del Extensionista, Gobierno de Nicaragua y Noruega. 127p.
- Fassbender, Hans W. y Bornemiza Elemer, 1987. Química de suelo con énfasis en suelos de América Latina. 2ª. Ed. San José, Costa Rica: IICA. 420p.
- Harald Spahn, 2000. Recomendaciones para actividades en el área de acción de recursos naturales y medio ambiente de PROCHILEÓN, en base a una estimación cuantitativa de

daños ambientales y posibles medidas de recuperación, prevención y compensación. Proyecto PROCHILEÓN, IDR – GTZ. 51p.

- Herweg, K., 1993. Problems of acceptance and adoption of soil conservation in Ethiopia. In: Baum, E., Wolff, P. And Zobisch, M. (Eds): Acceptance of soil and water conservation strategies and technologies. Topics in applied resource management, vol. 3:391. 411; Witzhausen.
- Herweg Karl, 1998. La valoración del daño por erosión actual. Manual de campo. Centro para el Desarrollo y el Medio Ambiente (CDMA) / Universidad de Berna Suiza / Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central (PASOLAC). 69p.
- <http://translate.google.com/translate?//www.rolf-derpsch.com> Entender el Proceso de la Erosión y de la Infiltración “N” de agua en el suelo. Rolf Derpsch
- http://www.fao.org/arg/AGSE/agse_s/7moliita/c7.htm. Edafología. Ciencias Ambientales. Causas de la degradación física del suelo.
- <http://www.fao.org/docrep/T0848S/t0848s09.htm#calculo%20de%20la%20perdida%20de%20suelo>. Medición Sobre el Terreno de la Erosión del Suelo y de la Escorrentía. (Boletín de Suelos de la FAO – 68). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, 1997.
- <http://www.fao.org/docrep/W2598S/w2598s05.htm>. Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos. (Estudio FAO Riego y Drenaje – 55). FAO, 1997.
- <http://www.umss.edu.bo/epubs/earts/downloads/66.pdf>. Calibración de los factores de erosión utilizando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisado (RUSLE).
- <http://www.unex.es/edafo/ECAP/ECAL3Varios.htm#text>. Edafología. Ciencias Ambientales. Propiedades físicas del suelo.

- Hudson, N. W., 1993. Field measurement of soil erosion and runoff. FAO soil bulletin 68, Rome.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería, 1994. Manual de manejo y conservación de suelo y agua. Ministerio de Agricultura y Ganadería; Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Ed. Diógenes Cubero. 2ª. Ed, San José, Costa Rica. EUNED. Pág.; 5.
- Núñez Solís, Jorge, 2001. Manejo y conservación de suelo. San José, Costa Rica, EUNED, 288p.
- PASOLAC / CIAT / FARENA (UNA), 1999. Manual de métodos sencillos para Estimar erosión hídrica basada en experiencias nacionales. Managua, Nicaragua
- Plan Ambiental del Municipio de el sauce 2000
- Quiroz, Marcial Ferrufino, 2000. Diagnóstico para la evaluación y cuantificación de los cambios en el uso de suelo. Microcuenca Río Salales, El Sauce. Proyecto PROCHILEÓN, IDR, GTZ.
- Singer, M. J. y Blackard, J., 1978. Effect of mulching on sediment in runoff from simulated rainfall. Soil sci.soc. Am Proc., Madison. 42: 481 – 86.
- Singer, M. J., Matsuda, Y. y Blackard, J., 1981. Effect of mulch rate on soil loss by raindrop splash. Soil sci. Soc. Am. Joom al, Madison. 45: 101 – 110.
- Zapata Moran Luis Antonio, 1998. Informe sobre la situación organizativa y económica en Municipio del Sauce. Proyecto PROCHILEON / IDR / GTZ.

IX. ANEXOS

ANEXO 1: ESQUEMA DEL EFECTO DE LA LLUVIA SOBRE LA EROSIÓN DE LOS SUELOS

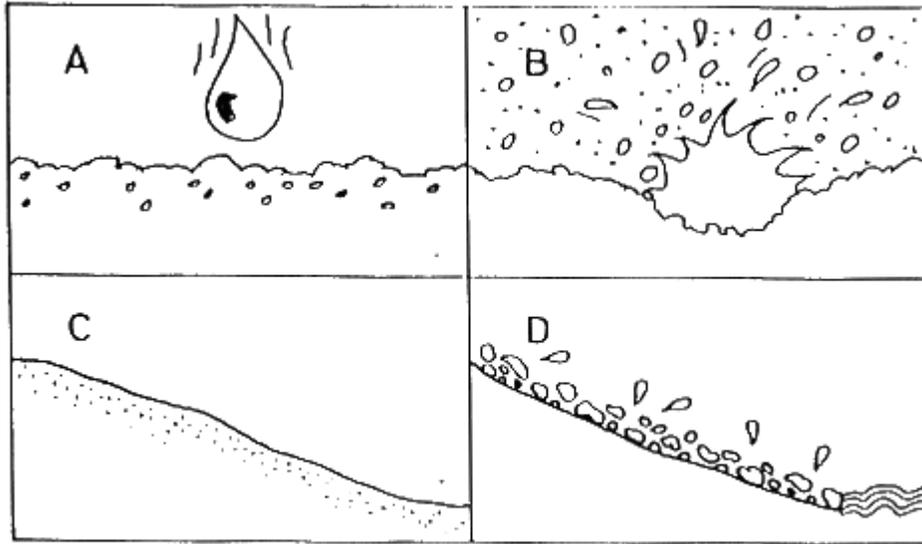


Figura 2: Etapas de la erosión hídrica: Por el impacto de la gota de lluvia sobre el suelo desnudo (A), sus agregados son desintegrados en partículas minúsculas (B), que tapan los poros formando una selladura superficial (C), provocando el escurrimiento superficial del agua de lluvia. El agua que escurre carga partículas de suelo que son depositadas en lugares más bajos cuando la velocidad de escurrimiento es reducida (D). (<http://translate.google.com>)

ANEXO 2: FORMULAS EMPLEADAS PARA DETERMINACIÓN DE ALGUNOS INDICADORES FÍSICOS DEL SUELO

Ecuación 1. **FORMULA PARA DETERMINAR LA DENSIDAD APARENTE.**

$$D_a = \frac{\text{Peso de suelo seco (gr)}}{\text{Volumen de suelo seco (cilindro) en cm}^3}$$

Donde:

$$\text{Volumen del Cilindro (VC)} = \pi r^2 h$$

$$\pi = 3.14$$

$$\text{Radio del cilindro (r)} = 2.5\text{cm}$$

$$\text{Altura del cilindro (h)} = 5.1\text{cm}$$

Entonces:

$$VC = 3.14 * (2.5)^2 * 5.1 \text{ cm} \Rightarrow VC = 100.08 \text{ cm}^3 \approx \boxed{100 \text{ cm}^3}$$

Ecuación 2. **FORMULA PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD DE RETENCIÓN.**

$$C R = \text{Peso de suelo húmedo} - \text{Peso de suelo seco}$$

Ecuación 3. **FORMULA PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN.**

$$C I = \frac{\text{Cantidad de agua filtrada (ml)}}{\text{Tiempo tardado en filtrarse (min)}}$$

ANEXO 3: RESUMEN DE LOS DATOS OBTENIDOS EN EL ESTUDIO

Tabla 7. Cantidad de lluvia caída y de suelo erosionado en la Parcela de **Agricultura con pendiente de 54.3 %** durante cada una de las toma de datos.

Fechas por cada visita	Lluvia (mm)	Tiempo (min.)	Suelo arrastrado (Lbs)
11/06 – 01/07/05	167.5	510	47
01/07 – 16/07/05	279.5	511	21.25
16/07 – 30/07/05	89.5	255	5
30/07 – 27/08/05	280	643	11
27/08 – 24/09/05	147.5	490	8
24/09 – 15/10/05	637	2625	6.8
15/10 – 12/11/05	163	530	1.5
12/11 – 03/12/05	15.5	30	1.1
Total	1779.5	5594	101.6

Tabla 8. Cantidad de lluvia caída y de suelo erosionado en la Parcela de **Agricultura con pendiente de 21.4 %** durante cada una de las toma de datos.

Fechas	Lluvia (mm)	Tiempo (min.)	Suelo arrastrado (Lbs)
19/06 – 01/07/05	83	295	5
01/07 – 16/07/05	279.5	511	21
16/07 – 30/07/05	89.5	255	7
30/07 – 27/08/05	280	643	6.7
27/08 – 24/09/05	147.5	490	3.4
24/09 – 15/10/05	637	2625	3
15/10 – 12/11/05	163	530	1.5
12/11 – 03/12/05	15.5	30	0.4
Total	1695	5379	48

Tabla 9. Cantidad de lluvia caída y de suelo erosionado en la Parcela de **Ganadería con pendiente de 57.2 %** durante cada una de las toma de datos.

Fechas	Lluvia (mm)	Tiempo (min.)	Suelo arrastrado (Lbs)
11/06 – 01/07/05	167.5	510	28
02/07 – 16/07/05	279.5	511	26
16/07 – 30/07/05	89.5	255	8.2
30/07 – 27/08/05	280	643	8
27/08 – 24/09/05	147.5	490	2
24/09 – 15/10/05	637	2625	3.8
15/10 – 12/11/05	163	530	2
12/11 – 03/12/05	15.5	30	0.6
Total	1779.5	5594	78.6

Tabla 10. Cantidad de lluvia caída y de suelo erosionado en la Parcela de **Ganadería con pendiente de 24.6 %** durante cada una de las toma de datos.

Fechas	Lluvia (mm)	Tiempo (min.)	Suelo arrastrado (Lbs)
13/06 – 01/07/05	164	490	43.5
02/07 – 16/07/05	279.5	511	15.5
16/07 – 30/07/05	89.5	255	15.5
30/07 – 27/08/05	280	643	7.6
27/08 – 24/09/05	147.5	490	3.2
24/09 – 15/10/05	637	2625	5.6
15/10 – 12/11/05	163	530	2.4
12/11 – 03/12/05	15.5	30	0.4
Total	1776	5574	93.7

Tabla 11. Cantidad de lluvia caída y de suelo erosionado en la Parcela de **Bosque con pendiente de 54.7 %** durante cada una de las toma de datos.

Fechas	Lluvia (mm)	Tiempo (min.)	Suelo arrastrado (Lbs)
13/06 – 01/07/05	164	490	37
02/07 – 16/07/05	279.5	511	36
16/07 – 30/07/05	89.5	255	9
30/07 – 27/08/05	280	643	12
27/08 – 24/09/05	147.5	490	7.6
24/09 – 15/10/05	637	2625	11.8
15/10 – 12/11/05	163	530	9
12/11 – 03/12/05	15.5	30	3.4
Total	1776	5574	125.8

Tabla 12. Cantidad de lluvia caída y de suelo erosionado en la Parcela de **Bosque con pendiente de 29.9 %** durante cada una de las toma de datos.

Fechas	Lluvia (mm)	Tiempo (min.)	Suelo arrastrado (Lbs)
14/06 – 01/07/05	160	475	6.7
02/07 – 16/07/05	279.5	511	18
16/07 – 30/07/05	89.5	255	15
30/07 – 27/08/05	280	643	21
27/08 – 24/09/05	147.5	490	13
24/09 – 15/10/05	637	2625	28
15/10 – 12/11/05	163	530	6.5
12/11 – 03/12/05	15.5	30	1.25
Total	1772	5559	109.45