

**ESTABLECIMIENTO DE PARCELAS DE ESCORRENTÍA PARA LA
ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA GENERADA POR LA
ACTIVIDAD GANADERA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO SANTA
ROSA, GUANACASTE**



JONATHAN MASIS SOLANO

Trabajo final de graduación presentado a la Escuela de Agronomía como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Agronomía

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

SEDE REGIONAL SAN CARLOS

2017

**ESTABLECIMIENTO DE PARCELAS DE ESCORRENTÍA PARA
LA ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA GENERADA POR
LA ACTIVIDAD GANADERA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO
SANTA ROSA, GUANACASTE**



JONATHAN MASIS SOLANO

Aprobado por los miembros del Tribunal Evaluador

Ing. Agr. Arnoldo Gadea Rivas, M. Sc.

Asesor Interno

Ing. Agr. Mauricio Fernández Calvo Lic.

Asesor Externo

Ing. Agr. Parménides Furcal Berigüete, M. Sc.

Jurado

Ing. Agr. Zulay Castro Jiménez, M.G.A.

Coordinadora

Trabajos Finales de Graduación

Ing. Agr. Luis Alberto Camero Rey, M. Sc.

Director

Escuela de Agronomía

2017

DEDICATORIA

A mis padres, William Masis Bastos y Lucinia Solano Álvarez, por todo lo que han hecho y todo lo que no han dicho, por la mano amiga y el consejo sincero que solo ustedes han sabido dar.

AGRADECIMIENTO

A quien siempre pedí ayuda cuando más lo necesitaba, gracias padre que estas en los cielos.

A mis padres por ser mis pilares.

Al TEC y la escuela de Agronomía, por todas la enseñanzas.

Al ICE por su anuencia al desarrollo de este proyecto de investigación.

Al Ing. Arnoldo Gadea Rivas, por sus enseñanzas y consejos que van más allá de la realización de este estudio.

A los integrantes de “Cuencas” de C. G. ArCoSa, quienes se convirtieron en compañeros y amigos.

A Gonzalo Quiroz, Michael Sandí, Karla Rodríguez, Mauricio Fernández, Esteban Sánchez, Yendry Jiménez, Andrea González, Karla Chacón, Alejandra Herrera y Karina Martínez por cada una de las historias compartidas durante años.

A todos mi sinceros agradecimiento.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiv
1.INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.Objetivo General.....	2
1.2.Objetivos Específicos	2
2.REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1.Erosión	3
2.2.Tipos de erosión	3
2.2.1.Erosión hídrica.....	4
2.2.1.1.Erosión pluvial	4
2.2.1.2.Erosión laminar.....	5
2.2.1.3.Erosión en surcos	5
2.2.1.4.Erosión en cárcavas	6
2.2.1.5.Erosión en terracetas.....	6
2.2.1.6.Remoción en masa.....	6
2.2.2.Erosión antrópica.....	6
2.3.Factores involucrados en el proceso de erosión del suelo	7
2.3.1.Clima	7
2.3.2.Suelo	8
2.3.3.Vegetación.....	9

2.3.4.Topografía	9
2.3.4.1.Pendiente de la cuenca	10
2.3.4.2.Tamaño de la cuenca	10
2.3.4.3.Forma de la cuenca	11
2.3.4.4.Elevación de la cuenca.....	11
2.4.Niveles aceptables de erosión.....	11
2.5. Métodos de cuantificación y evaluación de la erosión del suelo .	12
2.5.1.Mediciones volumétricas de erosión hídrica utilizando geomembranas.....	13
2.6.Microcuenca del río Santa Rosa.....	13
2.6.1.Generación eléctrica.....	14
2.6.2.Suelos.....	15
2.6.3.Uso de suelos.....	15
2.6.4.Zonas de vida	15
3.MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
3.1.Localización del estudio.....	18
3.2.Selección y manejo del área experimental	18
3.3.Manejo del experimento	19
3.3.1.Selección del área experimental.....	19
3.3.2... Identificación de los sistemas de manejo.....	20
3.3.3... Cuantificación de erosión.....	20
3.3.4... Evaluación del efecto de la pendiente.....	21

3.3.5.Relación de la pluviosidad sobre la erosión.....	21
3.3.6.Resistencia la penetración entre los usos de suelo	21
3.4.Análisis estadístico	22
3.5.Variables estudiadas	22
3.5.1.Pérdida de suelo.....	22
3.5.2.Medición de erosión hídrica en parcelas de pastura.....	23
3.5.3.Precipitación	23
3.5.4.Infiltración básica	23
3.5.5.Resistencia a la penetración.....	24
3.5.5.1.Análisis físico del suelo.....	24
4.RESULTADOS Y DISCUSION.....	25
4.1.División de la microcuenca	25
4.2.Subdivisión por pendiente y uso del suelo de las microcuencas .	26
4.3.Medición de sedimentos en parcelas de monitoreo.....	27
4.3.1. Estimación del efecto de la pendiente sobre la pérdida de suelo	28
4.3.2.Estimación del efecto del uso del suelo dedicado a la ganadería sobre la pérdida de suelo	31
4.4.Comparación de la resistencia a la penetración generada por la ganadería intensiva y extensiva	33
4.5.Comparación del grado de infiltración de agua en el suelo entre áreas dedicadas a la ganadería intensiva y extensiva.	35

4.5.1.Evaluación del efecto de la pluviosidad de la zona de estudio sobre la pérdida de suelo	35
5.CONCLUSIONES.....	38
6.RECOMENDACIONES	40
7.LITERATURA CITADA.....	41
8.ANEXOS	45

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Título	Página
Cuadro 1.	Clasificación de la erosión de acuerdo con la pérdida de suelo.....	11
Cuadro 2.	Condiciones físicas y de manejo de los sitios de estimación de la erosión en la microcuenca del Río Santa Rosa, Guanacaste. Abril, 2015.	26
Cuadro 3.	Cantidades de suelo removido por efecto de la erosión hídrica sobre las áreas destinadas a la actividad ganadera en la microcuenca baja y alta del río Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica. Periodo de evaluación del 18 de enero al 28 de julio del 2015.	27
Cuadro 4.	Relación entre la pendiente de los suelos y la erosión en la microcuenca del río Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica. Noviembre, 2015.....	28
Cuadro 5.	Efecto de la pendiente sobre la erosión en suelos dedicados a la ganadería en la microcuenca del río Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica. Noviembre, 2015.....	30
Cuadro 6.	Erosión estimada debida al uso en suelos dedicados a la ganadería en la microcuenca del río Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica. Noviembre, 2015.	31
Cuadro 7.	Resistencia a la penetración estimada de las diferentes condiciones en suelos dedicados a la ganadería en la microcuenca del río Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica. Noviembre, 2015.....	33
Cuadro 8.	Correlación estimada de la variable porcentaje de arcilla con respecto a la resistencia a la penetración en las	

diferentes condiciones evaluadas en la microcuenca del río Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica. Abril, 2016...34

Cuadro 9. Correlación estimada de la variable densidad aparente con respecto a la resistencia a la penetración en las diferentes condiciones evaluadas en la microcuenca del río Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica. Abril, 2016...34

LISTA DE FIGURAS

Figura	Título	Página
Figura 1.	Mapa de la microcuenca del río Santa Rosa, Guanacaste. Abril, 2015.	18
Figura 2.	Parcela de monitoreo instalada en la microcuenca alta bajo el uso de ganadería intensiva de leche, Guanacaste, Costa Rica. Setiembre, 2015.	19
Figura 3.	En (A), (B) y (C) se muestran sedimentos en una parcela de monitoreo de uso dedicado a la ganadería intensiva, en la microcuenca alta del río Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica. Agosto, 2015.....	21
Figura 4.	Medición de resistencia a la penetración realizada en una parcela instalada en la microcuenca alta bajo el uso de ganadería extensiva de carne, Guanacaste. Agosto, 2015.	24
Figura 5.	Mapa de la división de la microcuenca del río Santa Rosa, Guanacaste. En color verde claro se identifica la microcuenca baja y en color verde oscuro la microcuenca alta, del río Santa Rosa. Abril, 2015.....	25
Figura 6.	Sedimentos colectados en dos diferentes parcelas de monitoreo, (A) corresponde a una parcela de la microcuenca baja de uso dedicado a la ganadería extensiva y (B) corresponde a una parcela de la microcuenca alta del río Santa Rosa, de uso dedicado a la ganadería intensiva, Guanacaste, Costa Rica. Setiembre, 2015.....	28
Figura 7.	Efecto de la pendiente sobre la erosión en las parcelas de monitoreo, en la microcuenca del río Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica. Noviembre, 2015.	31

Figura 8.Cantidad de precipitación para cada microcuenca del río Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica. Noviembre, 2015.	32
Figura 9.Efecto de la pendiente y del tipo de explotación (AC=microcuenca alta y ganadería extensiva, AL=microcuenca alta y ganadería intensiva, B=microcuenca baja y ganadería extensiva) sobre la infiltración en la microcuenca del río Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica, Noviembre, 2015.	35
Figura 10.Relación entre la intensidad máxima de la lluvia y la infiltración básica en los suelos de la microcuenca del río Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica. Noviembre, 2015.	37

RESUMEN

Con el propósito de generar información para el establecimiento de un plan de manejo del problema de erosión que desencadena la colmatación de los embalses que forman parte del Centro de Generación Arenal-Corobicí- Sandillal, se desarrolló un monitoreo permitiera determinar el aporte de sedimentos que genera la actividad ganadera, así como evaluar el efecto de la pendiente, la resistencia a la penetración, el grado de infiltración y la precipitación. Se establecieron parcelas monitoreo en dos tipos de uso del suelo, ganadería intensiva y extensiva, en dos pisos altitudinales, en la microcuenca del río Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica. Para la estimación de la erosión, se utilizó la metodología de instalación de geomembranas denominado "silt fence", realizando monitoreos cada 15 días. Se estimó una pérdida de suelo de 16kg/ha, durante el periodo de evaluación del 18 de enero al 28 de julio, analizando el efecto de la pendiente, al aumentar la pendiente aumentó la tasa de erosión, las topografías evaluadas entre 0-15% obtuvieron 3kg/ha, las condiciones entre 15-30% presentaron una pérdida de 12kg/ha, las pendientes de 30-45% alcanzaron 28kg y en el caso de las pendientes entre 45-60% la erosión fue de 123kg/ha. Las condiciones de uso, ganadería extensiva e intensiva no presentaron diferencias para la variable pérdida de suelo, de igual forma, no existen diferencias entre los usos de ganadería en la microcuencas alta y baja para la variable mencionada. La relación de la resistencia a la penetración con las variables porcentaje de arcillas presentes en los suelos estudiados y densidad aparente de estos no permiten explicar si existe relación entre las variables y el grado de compactación en los distintos usos del suelo debido a que las correlaciones estimadas entre las distintas variables son muy bajas. Por su parte el fenómeno que explica la poca erosión generada por la ganadería en la microcuenca del río Santa Rosa es la capacidad de infiltración de los suelos debido a que la precipitación máxima durante cada evento fue menor a la capacidad de infiltración, de forma que se disminuye la escorrentía. Fenómeno ayudado por la cobertura perenne de las especies de pasturas que se encuentran en la zona de estudio.

Palabras clave: ganadería, erosión, pendiente, precipitación, colmatación, microcuenca.

ABSTRACT

With the purpose of generating information for the establishment of a management plan of the erosion problem that triggers the filling of the reservoirs that form part of the Arenal-Corobici-Sandillal Generation Center, a series of experiments were developed to determine the contribution of Sediments generated by livestock activity, as well as evaluate the effect of slope, resistance to penetration, degree of infiltration and precipitation. Monitoring plots were established in two types of land uses, extensive and extensive cattle ranching, on two altitudinal floors, in the Santa Rosa river basin, Guanacaste, Costa Rica. For the estimation of erosion, the methodology of installation of geomembranes called "silt fence" was used, performing monitoring every 15 days. A soil loss of 16 kg / ha was estimated during the evaluation period from January 18 to July 28, analyzing the effect of slope, increasing slope increased erosion rate, topographies evaluated between 0-15% They obtained 3kg / ha, the conditions between 15-30% presented a loss of 12kg / ha, the slopes of 30-45% reached 28kg and in the case of slopes between 45-60% erosion was 123kg / ha. The conditions of use, extensive and intensive cattle ranching did not present differences for the lost soil variable, likewise, there are no differences between the livestock uses in the high and low microbasins for the aforementioned variable. The relationship of the resistance to penetration with the variable percentage of clays present in the studied soils and their apparent density does not allow to explain if there is a relation between the variables and the degree of compaction in the different uses of the soil, because the estimated correlations Between the different variables are very low. On the other hand, the phenomenon that explains the little erosion generated by the cattle ranch in the Santa Rosa river microbasin is the capacity of infiltration of the soils because the maximum precipitation during each event was less than the capacity of infiltration, so that Decreases runoff. Phenomenon aided by the perennial coverage of the pasture species found in the study area.

Keywords: cattle raising, erosion, precipitation, pending, micro watershed.

1. INTRODUCCIÓN

En Costa Rica, como en todo el mundo la forma más importante de degradación de los suelos es la erosión; especialmente en los trópicos. La erosión hídrica genera la mayor contribución a la pérdida de suelo, especialmente bajo malas prácticas de manejo de los sistemas productivos, causando grandes afecciones tanto a nivel ecológico como económico. La erosión laminar y en surcos, es la forma de erosión que más afecta la agricultura por degradación del horizonte A (capa superficial) de los suelos, y a la vez afecta más significativamente la acumulación de sedimentos en los ríos.

Los sistemas de producción de explotación agrícola realizadas en la micro cuenca del río Santa Rosa han disminuido; en contraparte, se han destinado estas áreas a la explotación de sistemas ganaderos, actividad que actualmente es la que predomina. La microcuenca cuenta con diversas formas de topografías y grados de pendiente lo que provoca que el sobre pastoreo conduzca a procesos erosivos con efecto en el la colmatación de los cuerpos de agua que se encuentran dentro de la cuenca y posteriormente hacia el Embalse Sandillal.

Para el ICE, es de gran relevancia poder controlar dicho proceso en la Micro cuenca Santa Rosa, debido a las implicaciones sociales, ecológicas y económicas que implica el arrastre de sedimentos hacia el Embalse Sandillal, provocando que cada dos años, se deba programar y realizar una maniobra de limpieza en el Embalse, debido a la colmatación de sedimentos, la cual, si no se realiza pone en riesgo la operación normal del Centro de Producción Sandillal.

Como consecuencia, el ICE como principal ente generador de energía hidroeléctrica en el país y en conformidad con su política de correcta gestión ambiental, cuenta con el Centro de Servicio Ambiente y Cuencas que tiene como labor primordial la reducción del arrastre de sedimentos hacia los afluentes que desfogan en el Embalse Sandillal con el fin de incrementar la vida útil del embalse y por ende mantener la capacidad de volumen útil.

La siguiente investigación se realiza con el fin de generar información sobre el efecto real del fenómeno erosivo generado por la actividad ganadera en la microcuenca del río Santa Rosa, tomando en cuenta su impacto ambiental y económico.

1.1. Objetivo General

Establecer parcelas de escorrentía para la estimación de la erosión hídrica generada por la actividad ganadera en la microcuenca del río santa rosa, Guanacaste.

1.2. Objetivos Específicos

Evaluar la efectividad de las parcelas de escorrentía como metodología para la estimación de la erosión hídrica sobre áreas destinadas a la actividad ganadera en la microcuenca baja y alta del río Santa Rosa.

Determinar el efecto de la pendiente sobre la pérdida de suelo en las áreas destinadas a la actividad ganadera en la microcuenca baja y alta del río Santa Rosa.

Comparar la resistencia a la penetración generada por la actividad ganadera extensiva e intensiva.

Comparar la tasa de infiltración de agua entre áreas dedicadas a la ganadería extensiva e intensiva.

Evaluar el efecto de la pluviosidad de la zona de estudio sobre la pérdida de suelo destinado a la actividad ganadera.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1. Erosión

Según Cubero (1996), la erosión se define como la acción de desprendimiento de las partículas de suelo y su transporte por el agua de escorrentía. Por su parte Morgan (2005), describe que la erosión es un proceso físico que consiste en el desprendimiento, transporte y sedimentación del suelo.

El suelo es el lugar sobre el que se desarrollan la mayor parte de las actividades humanas, es la fuente de nutrientes y el lugar sobre el que crecen las plantas que son la base de nuestra alimentación. Los daños que la erosión produce en el suelo son peligrosos pues disminuyen su capacidad para retener agua y recargar los mantos acuíferos de los que nos abastecemos, además de la pérdida de fertilidad, que incrementa los costos de producción y/o disminuye la productividad de los suelos (Núñez 2001).

“Esto convierte a la erosión en uno de los principales problemas agrícolas de mayor importancia en el mundo. Representa el origen principal de los sedimentos que contaminan las corrientes de agua que llenan los lagos y las presas. También contribuye a la desintegración de los compuestos que nutren a los vegetales y que se pierden con el escurrimiento” (Schwad *et al.* 1990).

2.2. Tipos de erosión

Schwad *et al.* (1990), menciona que existen dos tipos principales de erosión, la erosión geológica que se da de forma natural mediante los procesos de formación y deformación del suelo, ésta lo mantiene en un equilibrio adecuado; la segunda es la erosión antrópica o causada por el hombre, que altera el equilibrio natural y genera una pérdida mayor a la capacidad del suelo para regenerarse.

Los principales agentes naturales de la erosión son el agua y el viento, en menor grado intervienen la temperatura y los agentes biológicos. La erosión hídrica sucede principalmente en regiones húmedas y suelos que presentan

pendientes considerables. Por su parte la erosión eólica se presentan principalmente en zonas planas y secas (Núñez 2001).

2.2.1. Erosión hídrica

El poder erosivo de la lluvia lo constituye la energía con la que las gotas de lluvia impactan sobre la suelo, en conjunto con la intensidad del evento lluvioso, rompiendo los agregados superficiales del suelo en partículas fácilmente transportables por el agua de escorrentía. Este fenómeno es característico de las lluvias tropicales que poseen una alta intensidad y energía cinética (Collotti 1999).

Existen diversos procesos de erosión hídrica, éstos están asociados a la escorrentía o flujo de agua en la superficie de los terrenos. Entre estos se encuentran: la erosión pluvial, la erosión laminar, la erosión en surcos, erosión en cárcavas y erosión en terracetos. Además, el agua como agente erosivo favorece la remoción en masa como la solifluxión, deslizamientos, hundimientos y desprendimientos, provocados por la saturación hídrica del suelo (Núñez 2001).

2.2.1.1. Erosión pluvial

Éste constituye el factor más importante en el desprendimiento del suelo. El efecto de la energía de la gota de lluvia al impactar la capa superficial del suelo disgrega las partículas, las cuales pueden ser desplazadas a varios centímetros de distancia hacia cualquier dirección (Schwad *et al.* 1990).

La reacción del suelo al impacto de las gotas de lluvia contra su superficie depende de su contenido de humedad y su estructura, además de la intensidad del evento lluvioso y su duración. En el caso de que el suelo se encuentre seco y la intensidad de lluvia sea fuerte, los agregados se rompen rápidamente al hidratarse (Morgan 2005).

La capacidad de infiltración se reduce de manera acelerada y el efecto en superficies muy lisas es la rápida aparición de la escorrentía. Si las partículas de suelo se encuentran parcialmente húmedas al inicio de la tormenta o si la

intensidad de ésta es baja, se producen microrrupturas y los agregados se separan en partículas más pequeñas (Morgan 2005).

La superficie del suelo sufre una disminución en su rugosidad, sin embargo, la infiltración no sufre un cambio importante, debido a la porosidad que permanece entre los microagregados. Si el suelo se encuentra saturado, la dinámica entre escorrentía e infiltración depende de la capacidad hidráulica, aunque se requiere de precipitaciones fuertes y prolongadas para sellar la superficie (Morgan 2005).

2.2.1.2. Erosión laminar

Después de una lluvia es posible que se pierda una capa fina y uniforme de toda la superficie del suelo como si fuera una lámina. Núñez (2001), la describe como el arrastre de partículas de suelo suspendidas en el agua de lluvia y desplazadas en el sentido de la pendiente, de manera difusa o uniforme.

La fuerza abrasiva y de arrastre de la corriente laminar está en función de la profundidad y de la velocidad de escurrimiento para una partícula o agregado de suelo de tamaño, forma y densidad determinados (Schwab *et al.* 1990).

2.2.1.3. Erosión en surcos

Este proceso se debe al escurrimiento o flujo concentrado de agua, incluso en terrenos ligeramente ondulados, con tres a ocho por ciento de pendiente. El agua que escurre por la superficie de los terrenos es el mecanismo de transporte de las partículas de suelo, que fluyen mezclados heterogéneamente, y concentran el flujo a lo largo de pequeñas depresiones del terreno (Núñez 2001).

Por esta razón, la característica de los surcos consiste en su paralelismo en el sentido de la pendiente. Pero también existen formas erosivas dendríticas, siempre orientadas en forma más o menos paralelas y en sentido de la pendiente, que también corresponde a erosión en surcos. El grosor y la amplitud de los surcos es variable, con valores de tres y cinco centímetros de ancho y de profundidad al inicio del proceso, hasta llegar a amplitudes de cuarenta a sesenta

centímetros de profundidad, o mayores, si no se realizan obras de conservación de suelos que detengan el proceso erosivo (Núñez 2001).

2.2.1.4. Erosión en cárcavas

La erosión en surcos cuando se expande, forma grandes excavaciones continuas o discontinuas, por donde el agua discurre en forma intermitente y que se denomina erosión por zanjas o cárcavas. La velocidad de erosión y desarrollo de zanjas depende principalmente de las características de la escorrentía; volumen, tiempo y frecuencia en que ocurren y del desarrollo de la sección transversal que se forma en "V" si se forma en terrenos relativamente resistentes a la erosión, especialmente laderas, o en "U", si se forma en terrenos fácilmente erosionables y más o menos planos (Villón 1979).

2.2.1.5. Erosión en terracetas

Se origina por el sobrepastoreo de bovinos en zonas de ladera, que provoca una compactación del suelo generando una serie de caminos en zigzag, y que posteriormente degenera en erosión en surcos y en terracetas (Núñez 2001).

2.2.1.6. Remoción en masa

La remoción en masa es el movimiento de una masa de suelo, causada por la infiltración del agua, saturación del suelo y la acción de la gravedad. Suele darse en suelos plásticos y puede ser de movimiento lento en cuyo caso recibe el nombre de solifluxión o de flujo rápido como los derrumbes (Núñez 2001).

2.2.2. Erosión antrópica

La erosión antrópica o inducida es causada por una ruptura del equilibrio natural. El que causa esta ruptura es generalmente el hombre, cuando no utiliza en forma adecuada los recursos naturales.

Cuando el hombre altera estos procesos "naturales" se produce un aumento en el desprendimiento y transporte del suelo. Este proceso está relacionado con la desertificación, porque no es sostenible ya que se altera y

degrada la vegetación, los flujos hídricos, la flora y la fauna, y no se permite su regeneración. La desertificación, constituye uno de los impactos ambientales más importantes en nuestro planeta. Se dice que la erosión es un proceso irreversible ya que debe pasar mucho tiempo para que se forme un suelo, pero muy pocos días para que se pierda (Furcal 2010).

2.3. Factores involucrados en el proceso de erosión del suelo

Según Schwab *et al.* (1990), las principales variables que influyen en la erosión son: el clima, la topografía, el suelo y la cobertura vegetal. De éstas se pueden modificar la vegetación y el suelo hasta cierto punto. Los factores climáticos y los topográficos a excepción de las distancias en pendiente, están fuera del control del hombre.

2.3.1. Clima

Los factores climáticos que intervienen en la erosión son: la precipitación, la temperatura, el viento, la humedad y la radiación solar. La lluvia en conjunto con el viento son quienes afectan de manera más directa. La temperatura y el viento son notables por su efecto en la evaporación y en la transpiración. Sin embargo, el viento cambia también la velocidad de las gotas de agua y el ángulo de impacto. La radiación y la humedad tienen menor intervención, ya que sus efectos están relacionados con la temperatura (Schwab *et al.* 1990).

Núñez (2001), define los términos de erosividad y erodabilidad como uno de los principales motores de la erosión en el suelo. La erosividad es la habilidad potencial de la lluvia para causar erosión y depende de la energía cinética asociada al fenómeno lluvioso. Erodabilidad, por su parte, se define como la susceptibilidad de los suelos para ser erosionados por un agente externo y depende de sus características físicas y del manejo que se le dé al recurso edáfico.

Costa Rica, por localizarse en una zona tropical está expuesta a constantes precipitaciones, los cuales provocan altos contenidos de humedad en el suelo. Por tanto, al momento de darse un evento pluvial, estos altos contenidos de humedad permitirán que el suelo alcance la tasa de infiltración

final en menor tiempo. Es así que la intensidad, duración y frecuencia de la lluvia provocan que el suelo alcance en menor tiempo los estados de saturación, beneficiando de esta forma el flujo de escorrentía y así los procesos erosivos (Núñez 2001).

2.3.2. Suelo

Según Kirkby y Morgan (1984), entre las propiedades físicas que afectan la capacidad de infiltración y la distancia a la que puede dispersarse o transportarse se encuentran: la textura del suelo, la estructura del suelo, el perfil del suelo, su densidad y la compactación.

Desde el punto de vista de la textura, los suelos con un alto porcentaje de limo son muy susceptibles a la erosión por motivos de la impermeabilización de los poros del suelo, por lo cual la capacidad de infiltración del suelo disminuye, de esta manera se genera mayor escorrentía superficial y causa mayor erosión. Los suelos con un alto porcentaje de arcilla tienen baja capacidad de infiltración y son muy susceptibles a la erosión en caso de aguaceros intensos. En suelos arenosos la capacidad de infiltración es muy alta por lo que absorben la mayor parte del agua sin originar escorrentía superficial (Núñez 2001).

En el caso de la estructura, un buen desarrollo estructural del suelo favorece la infiltración y disminuye la escorrentía, por ejemplo en suelos franco arcillosos, franco arcillo limosos, arcillosos y arcillo limosos. Se considera que estructuras de tipo masivas o blocosas gruesas fuertes son las que ofrecen mayor resistencia al impacto de las gotas de lluvia y al arrastre de las partículas por escurrimiento superficial. En cambio, estructuras sueltas (tipo granular) presentan una alta susceptibilidad al proceso erosivo. Además, la materia orgánica juega un papel muy importante en la resistencia que pueda ofrecer el suelo a la erosión ya que tiene gran capacidad de absorción y retención de agua y ayuda a la formación de agregados estables, los cuales aumentan la permeabilidad y la porosidad del suelo, mejorando su estructura (Núñez 2001).

Kirkby y Morgan (1984), mencionan que el perfil del suelo suele ser determinante en la erosión del suelo debido a que los horizontes inferiores al

horizonte A o de labranza son menos erosionables. Un horizonte B de estructura prismática se drena fácilmente, no así un horizonte de mala estructura, ya sea compacta o laminar ya que estas impiden un buen drenaje.

En cuanto a la densidad, una alta densidad aparente implica una menor porosidad del suelo lo que impide una buena infiltración. La ausencia de macro y mesoporos provoca que el suelo se sature rápidamente. Esta reducción de la infiltración natural de los suelos en ocasiones es debida a la compactación generada por el paso de maquinaria agrícola y/o el sobre pastoreo (Núñez 2001).

2.3.3. Vegetación

La cobertura vegetal reduce la fuerza de la erosión ya que absorbe la energía de las gotas de lluvia, interceptándolas al caer, reduciendo el escurrimiento. Además retarda la erosión al reducir la velocidad del agua sobre la superficie, mejora la porosidad y cohesión del suelo mediante las raíces y los residuos de las plantas, aumenta la actividad biológica del suelo lo que se traduce en mayor macroporosidad y restringe físicamente el movimiento del suelo (Duran *et al.* 2002).

Los efectos de la cobertura varían de acuerdo con el material vegetal, el grado de cobertura, el suelo y el clima; así como también con la clase de material vegetal, es decir, las raíces, el follaje y los residuos de las plantas (Schwab *et al.* 1990). El hombre puede controlar en gran parte esta protección, utilizando una cobertura adecuada y efectuando un correcto manejo de los sistemas de producción.

2.3.4. Topografía

El principal aspecto topográfico que influye estrechamente en el proceso erosivo es el grado de pendiente, la longitud de la misma, elevación y el tamaño y la forma de la cuenca (FAO 1997).

A medida que aumenta el grado de la pendiente, la velocidad y el volumen del agua de escorrentía aumentan y así su poder erosivo. Conforme aumenta el largo de la pendiente, el volumen de agua de escorrentía crece y por lo tanto su

poder erosivo. El hombre puede controlar en gran parte la influencia de este factor sobre la erosión a través de la implementación de prácticas de conservación de suelos tendientes a reducir el grado de la pendiente y a acortar su longitud, dividiéndola en pequeños segmentos (FAO 1997).

2.3.4.1. Pendiente de la cuenca

Al incrementar la pendiente en una región aumenta la velocidad de escorrentía produciendo una erosión severa por la abrasión y el desplazamiento de los sedimentos (Schwab et al.1990; Sancho y Villatoro 2005; Torres 1982), menciona que la pendiente afecta al escurrimiento en la forma siguiente:

Pendiente 0% a 5%: agua estancada o escurrimiento muy lento, la mayor parte del agua se percola o se evapora.

Pendiente 5% a 10%: escurrimiento de lento a medio, hay agua superficial por periodos cortos, erosión leve.

Pendiente 10% a 20%: escurrimiento rápido, la mayor parte del agua escurre en la superficie, sólo una pequeña parte se infiltra, erosión media.

Pendiente 20% a 35%: escurrimiento muy rápido, casi toda el agua escurre, erosión severa.

Pendiente más de 35%: se mueve tan rápido como se precipita al suelo, erosión muy severa.

2.3.4.2. Tamaño de la cuenca

El tamaño que tenga la cuenca está relacionado con el grado de aceptación de precipitación; a mayor superficie para una misma intensidad, mayor será la capacidad de la cuenca, por lo tanto menor será la escorrentía (FAO 1997).

2.3.4.3. Forma de la cuenca

La forma de la cuenca influye en la captación que pueda tener esta. Las cuencas que son de forma redondeada presentan un escurrimiento mayor que los que son de forma estrecha y alargadas a igualdad de áreas. Esto se debe a que las cuencas alargadas presentan un mayor tiempo de concentración, lo cual da mayor posibilidad para que el agua se infiltre (FAO 1997).

2.3.4.4. Elevación de la cuenca

La altitud está ligada a la cantidad de precipitación que se da, a mayor altitud hay mayor precipitación y por consiguiente mayor escorrentía que genera un mayor arrastre de las partículas del suelo (FAO 1997).

2.4. Niveles aceptables de erosión

Según Núñez (2001), el punto principal del análisis es definir cuáles son los niveles aceptables de erosión, este concepto estima la máxima cantidad de suelo que se puede perder por erosión de una parcela. Por tanto se estima que los límites de degradación del suelo deben estar en función de los procesos de formación para cada región específica, a pesar de que se explote agrícolamente en forma continua.

Cuadro 1. Clasificación de la erosión de acuerdo con la pérdida de suelo.

Pérdida (ton/ ha/ año)	Clase de erosión
<10	Erosión baja
10-50	Erosión moderada
50-200	Erosión severa
>200	Erosión muy severa

Fuente: FAO citado por Marchamalo (2004).

La denominación de la pérdida de suelo se suele expresar en mm/año considerando el espesor del perfil A del suelo o ton/ ha/ año analizando la superficie total del área afectada. Para esta última denominación, la Organización de las Naciones Unidas (FAO) desarrolló un criterio de clasificación de la erosión en cuatro rangos, que se muestra en el Cuadro 1.

En la metodología de Determinación de Capacidad de Uso de las Tierras de Costa Rica, publicada en La Gaceta (1988), citada por Fernández (2012) se establecen cinco categorías de erosión, descritas a continuación.

1. Nula: sin síntomas de erosión.

2. Ligera o leve: se manifiesta como erosión laminar y/o en surcos ligera. Presencia de pedestales de poca altura (menores de 3 cm). Pérdida de menos del 25% del horizonte A original.

3. Moderada: erosión laminar y/o en surcos moderada. Presencia generalizada de canalículos y surcos poco profundos. Se considera una pérdida de hasta un 50% del horizonte A original.

4. Severa: erosión laminar y/o en surcos fuerte con cárcavas incipientes. Canalículos y surcos profundos. Pérdida de hasta el 100% del horizonte A original.

5. Muy severa: cárcavas profundas. Suelos prácticamente destruidos, con exposición del horizonte B. Deslizamientos y deposiciones masivas de suelos que se han desplazado desde su lugar de origen.

Según Cubero (1996), se han obtenido datos de pérdida de suelo de 108 ton/ha, en un solo día, en la zona norte de Cartago y de las 34 cuencas con que cuenta el país, 4 presentan un alto grado de erosión. Estas son: Cuenca del río Reventazón – Parismina, Grande de Tárcoles, Parrita y Barranca.

2.5. Métodos de cuantificación y evaluación de la erosión del suelo

Según Vega y Febles (2005), citado por Fernández (2012), el objeto de medir la erosión del suelo es conocer la cantidad de éste que se desplaza en

determinado espacio, cierta distancia en un tiempo determinado. Así mismo, este proceso se puede medir volumétricamente en sitios seleccionados o bien en estaciones de medición.

2.5.1. Mediciones volumétricas de erosión hídrica utilizando geomembranas

Dentro de las mediciones volumétricas se pueden utilizar las barreras geotextiles. Prado (2007) y (2009) mostró su utilidad mediante la comparación con las varillas o estacas de erosión introducidas en la superficie del suelo. En su estudio utilizó las barreras de tipo “silt fence” y demostró su practicidad y utilidad como sistema de cuantificación de pérdida de suelo bajo condiciones controladas de escorrentía.

Dicha técnica hace uso de una barrera diseñada en principio por compuestos de materiales sintéticos duraderos, estabilizados contra los rayos ultravioleta e inertes a los compuestos químicos que se encuentran de manera natural en el suelo. Éstos filtran las partículas de limo y arena transportadas por la escorrentía superficial, posteriormente un filtro de suelo se constituye adherido a la geomembrana, lo cual reduce la capacidad del flujo superficial de pasar a través de la misma. Este proceso conduce a la formación de un charco antes de la geomembrana el cual funciona como sedimentador de los sólidos suspendidos en el agua de escorrentía (Theissen 1992).

2.6. Microcuenca del río Santa Rosa

En la vertiente del pacífico norte se ubica la cuenca del Río Bebedero; dentro de esta cuenca se ubica la sub cuenca del Río Corobicí; y a su vez dentro de esta una de las microcuencas que la componen es la microcuenca del Río Santa Rosa. Esta microcuenca se extiende desde los 50 m.s.n.m. cerca del embalse Sandillal hasta los 1038 m.s.n.m. en la estación Chiripa, comprende las partes altas en el sector sur este de la cordillera de Tilarán, y es divisoria con el embalse Arenal (Aguirre y Araya 2007).

Posee un área total de 10.445 hectáreas, al final del curso del cauce principal del Río Santa Rosa a 1,5km antes de la unión con el Río Magdalena,

se localiza el embalse Sandillal, que recibe el agua utilizada en la generación de energía eléctrica proveniente de los Centros de Producción Arenal y Miguel Dengo respectivamente. Además dicho embalse es un reservorio del agua requerida para la generación de energía eléctrica por parte del Centro de Producción Sandillal (Aguirre y Araya 2007).

2.6.1. Generación eléctrica

El Centro de Generación ArCoSa está constituido por tres Centros de Producción hidroeléctricos que operan en cascada y por consiguiente aprovechan la misma agua para producir electricidad. Los Centros de producción Hidroeléctricos son: Arenal, Miguel Dengo (antes llamado Corobicí) y Sandillal. Además forma parte del C.G ArCoSa el Centro de Producción eólico Tejona (Aguirre y Araya 2007).

Este complejo hidroeléctrico funciona con un sistema de aprovechamiento en cascada. Se utiliza el agua del embalse Arenal, el cual tiene un área de 87,8 km², almacena 2 416 millones de m³ de agua y alcanza un nivel máximo de 546 m.s.n.m. El embalse Santa Rosa, que se abastece del río homónimo, se encuentra ubicado contiguo a la planta Arenal, tiene un volumen de 143 670 m³ y permite la operación coordinada de las plantas Arenal y Miguel Dengo. Además la planta hidroeléctrica Sandillal se abastece del río Santa Rosa y del embalse Sandillal. Dicho embalse abarca 71 ha, tiene un volumen de 6,3 hm³ y su elevación máxima es de 93 m.s.n.m. (ICE 2006).

A pesar de que los Centros de Producción Arenal, Miguel Dengo y Sandillal utilizan aguas provenientes del Embalse Arenal, sus casas de máquinas se localizan en las orillas del río Santa Rosa. Además, las aguas una vez turbinadas en Miguel Dengo, son trasvasadas a este río, donde se embalsan para luego ser utilizadas en conjunto con el aporte del Río Santa Rosa en la planta Sandillal (Aguirre y Araya 2007).

Este embalse Sandillal es el que soporta y acumula los sedimentos transportados por el río Santa Rosa, siendo necesarios maniobras de limpieza

periódicas de este reservorio, para mantener la capacidad de almacenamiento del mismo y también la vida útil de la planta Sandillal.

2.6.2. Suelos

Entre los suelos que se presentan se ubican 2 órdenes, los Inceptisoles que representan el 61,4% del total de área en estudio y los alfisoles que representan el 38,5% (Aguirre y Araya 2007).

Los suelos Inceptisoles, se caracterizan por ser suelos generalmente húmedos, con horizontes pedogénicos de alteración del material de origen, pero no de acumulación, de pendientes suaves a profundas; de arcillas amorfas o cenizas volcánicas. Por su parte, los suelos del orden alfisol se caracterizan por ser de horizontes superficiales de color gris a café, provisión de bases de mediana a alta, y con horizontes sub superficiales con acumulación de arcilla; generalmente húmedos, pueden estar secos durante la estación cálida, de pendiente suave a moderada (Millar *et al.*1980, citado por Aguirre y Araya 2007).

2.6.3. Uso de suelos

El área dedicada al uso de pasturas representa el 51% de la microcuenca, así como un 15,27% se encuentra en la categoría de pastos con árboles, lo cual contabiliza un 67,23% del área en estudio. En general este uso está relacionado principalmente con la actividad ganadera, la cual produce una alta compactación de suelos, erosión, además del llamado “pie de vaca” ocasionado por el ganado en las laderas. Las actividades ganaderas que se desarrollan en la microcuenca corresponden a producción lechera, producción de carne y doble propósito (Aguirre y Araya 2007).

2.6.4. Zonas de vida

Las zonas de vida presentes en la microcuenca Santa Rosa fueron descritas por Aguirre y Araya (2007), con base en las zonas de vida definidas por Holdridge (1987). Las zonas de vida según Aguirre y Araya (2007) se describen de la siguiente manera:

Bosque húmedo premontano: representa el 25,6% del área en estudio, pertenece al piso altitudinal premontano, ostenta una temperatura estimada para la zona de 17 °C a 24 °C, posee un rango de precipitación de 1.200-2.200 mm/año y se estima que goza de 3,5 meses a 5 meses de estación seca. Se localiza primordialmente en la parte media alta de la microcuenca y en la parte media hacia el norte de la misma.

Bosque húmedo premontano transición a tropical: abarca un 6,4% del área en estudio, se encuentra en el piso altitudinal premontano, con una temperatura estimada que va de 24 °C a 24.5 °C, muestra una precipitación de 1.500 a 1.950 mm/año, con una estación seca de 3,5 meses a 5 meses de estación seca. Esta se localiza en la parte media baja de la microcuenca hacia el sur de la misma.

Bosque húmedo tropical transición a premontano: Un 26,6% del área de la micro cuenca se encuentra dentro de esta zona de vida, pertenece al piso altitudinal basal, con una temperatura estimada de 24 °C a 25 °C, una precipitación de entre 1.950 a 3.000mm/año y con una estación seca de cero meses a 5 meses. Ubicado en la parte media de la microcuenca.

Bosque húmedo tropical transición a seco: abarca un 6,3% del total del área, pertenece al piso altitudinal basal, con una temperatura de 24.°C a 25.°C, posee una precipitación de 1.950 a 3.000 mm/año y posee de 0 a 5 meses secos. Localizado en la parte media de la microcuenca hacia el sur de la misma.

Bosque muy húmedo premontano: un 14,7% de área de la microcuenca se ubica en esta zona de vida que corresponde al piso altitudinal premontano, posee una temperatura anual que oscila entre 17 °C y 24 °C, con precipitaciones que van de los 2.000 a 4.000mm/año, además de una estación seca que varía de entre 0 y 5 meses secos. Se pueden ubicar en la parte alta de la microcuenca abarca la mayor parte de la misma.

Bosque muy húmedo premontano transición a pluvial: representa un 0,9% del área en estudio, perteneciente al piso altitudinal premontano, con una temperatura que fluctúa de 17 °C a 24 °C, con un periodo de lluvias que aporta

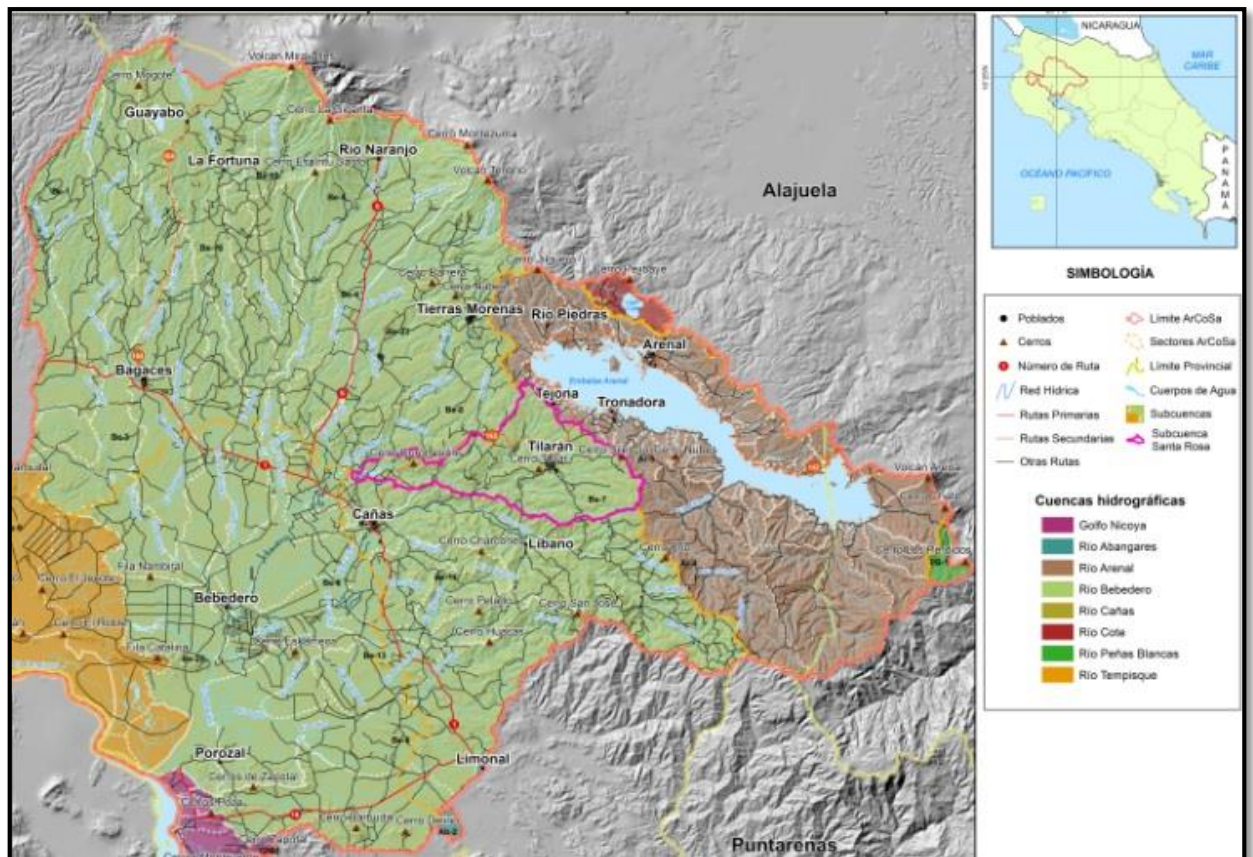
de 4.000 a 4.500mm/año y una estación seca que se extiende de 0 a 5 meses. Este se ubica en la parte más alta de la microcuenca en una pequeña proporción.

Bosque seco tropical: esta involucra un 19,4% del área de la microcuenca, se ubica en el piso altitudinal basal, con una temperatura que ronda los 24 °C a 24.5 °C, con una precipitación de 1.100 a 1.500mm/año, además de una estación seca bien marcada con al menos 6,5 meses secos por año. Esta zona de vida se extiende a lo largo de toda la parte baja de la microcuenca.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del estudio

El estudio se efectuó en la microcuenca del río Santa Rosa, ubicada en los cantones de Tilarán y Cañas, Guanacaste. Ésta se encuentra dentro del área de influencia del Centro de Generación ArCoSa (Figura 1).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1. Mapa de la microcuenca del río Santa Rosa, Guanacaste. Abril, 2015.

3.2. Selección y manejo del área experimental

Cada parcela experimental, estuvo conformada por un área natural, es decir, las parcelas se delimitaron por una divisoria de agua, o una zona en la cual el agua de escorrentía converge hacia un punto definido, esto debido a la naturaleza de la actividad pecuaria. Por lo que las dimensiones de las parcelas

fueron variables, sin embargo, las pérdidas por efecto de la erosión hídrica se cuantificaron en ton/ha.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2. Parcela de monitoreo instalada en la microcuenca alta bajo el uso de ganadería intensiva de leche, Guanacaste, Costa Rica. Setiembre, 2015.

3.3. Manejo del experimento

3.3.1. Selección del área experimental

Mediante el uso de un Sistema de Información Geográfica (SIG) se generó un mapa de pendientes a partir de la información de curvas de nivel cada 20 metros con una resolución de 10 m el cual se usó de base para definir las clases de pendiente para la zona de estudio.

Se establecieron los rangos de pendiente con mayor superficie, con el fin de caracterizar de manera uniforme y con la mayor amplitud posible la pendiente del terreno dentro de la microcuenca. Estos rangos de pendiente conformaron la primera variable del diseño experimental.

Con el fin de ubicar las parcelas experimentales en lugares propicios para realizar mediciones de pérdida de suelo a una escala adecuada y así lograr su aplicabilidad a la mayor parte de la superficie posible, dentro de la microcuenca se identificaron las áreas que poseen características de uso de suelo y

pendientes más representativas de la zona de estudio, está pendiente se determinó mediante un clinómetro.

Además las parcelas experimentales se instalaron en función de sus condiciones y cercanía a las estaciones pluviográficas.

La georreferenciación del área de estudio y medición se efectuó con un receptor de posicionamiento global modelo GPSmap 62s, el cual cuenta con una precisión máxima de 3 m, las coordenadas se registraron en metros para la proyección Lambert Norte, con el fin de adecuarlas a la base de datos geofísica con la que se cuenta.

3.3.2. Identificación de los sistemas de manejo

La identificación de los sistemas de manejo se basó en la “Caracterización general de la microcuenca del Río Santa Rosa” efectuada por Aguirre y Araya (2007). Ver el punto 2.6.3. Usos de suelos.

3.3.3. Cuantificación de erosión

La cuantificación de la erosión del suelo se realizó mediante el método de recolección de sedimentos en geomembranas (Figura 3). Se realizaron muestreos de sedimentos cada quince días en los sitios de estimación, con el fin de medir la masa del sedimento depositado en cada colector. De cada sitio se tomó una muestra del suelo para análisis físico.

Las muestras de suelo obtenidas de los monitoreos, fueron secadas en el horno a 105 °C durante 24 horas esto con el fin de determinar el peso seco recolectado en campo para cada parcela.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. En (A), (B) y (C) se muestran sedimentos en una parcela de monitoreo de uso dedicado a la ganadería intensiva, en la microcuenca alta del río Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica. Agosto, 2015.

3.3.4. Evaluación del efecto de la pendiente

El efecto de la pendiente sobre el nivel de la erosión se evaluó mediante los datos quincenales de suelo recolectado en las parcelas de monitoreo, comparando los datos obtenidos en las parcelas con diferente grado de pendiente.

3.3.5. Relación de la pluviosidad sobre la erosión

Haciendo uso de las estaciones pluviográficas ubicadas en la microcuenca y mediante el programa “lluvias erosivas” se calculó la intensidad, la duración, la frecuencia y la lluvia total, con el fin de relacionar la pluviosidad al suelo colectado en las parcelas de monitoreo.

3.3.6. Resistencia la penetración entre los usos de suelo

Se evaluó la resistencia a la penetración comparando los valores obtenidos de los usos de suelos de producción ganadera intensiva y extensiva. La evaluación se realizó haciendo uso de un penetrómetro.

3.4. Análisis estadístico

El ensayo comprende un modelo estadístico de muestreos, con cuatro rangos de pendiente, cuatro sitios de monitoreo por condición, en dos unidades de manejo distintas y dos condiciones agroecológicas diferentes. Cada parcela de medición correspondió a una unidad única de muestreo. El análisis estadístico de los datos de pérdida de suelo se realizó mediante estadística descriptiva. La información cuantitativa fue estudiada mediante análisis correlación y regresión con el fin de proponer una fórmula que permita predecir la pérdida de suelo por erosión en la microcuenca del río Santa Rosa bajo las condiciones estudiadas.

La relación entre pluviosidad y la erosión se analizó mediante pruebas de correlación.

3.5. Variables estudiadas

Las variables estudiadas fueron, pérdida de suelo, erosión hídrica, precipitación, infiltración básica, resistencia a la penetración y análisis físico de suelo.

3.5.1. Pérdida de suelo

La cuantificación de la erosión hídrica se realizó por un período de cinco meses, realizando monitoreos quincenales, para un total de 10 evaluaciones durante el período de estudio, utilizando membranas de geotextil tipo “silt fence” siguiendo la metodología de instalación desarrollada por Prado, R. 2007. Desarrollada en el marco del “Proyecto Microcuenca Platón-Pacayas” y publicada en el Documento Técnico No. 4 denominado “Manual de instalación de barreras con geotextil “silt fence” para medición de la erosión en parcelas Experimentales” y el Trabajo Final de Graduación denominado “Metodología ajustada para la determinación de pérdida de suelo” desarrollada por el mismo autor (2009), con el fin de tener una medición volumétrica de la pérdida de suelo en el terreno.

3.5.2. Medición de erosión hídrica en parcelas de pastura

Una vez definidos los sitios para realizar las pruebas, se procedió a la instalación de la geomembrana en la parte baja de la zona de estudio. Seguido a la colocación del geotextil se definió el área de aporte a la geomembrana para conocer el potencial erosivo del terreno con el fin de cuantificar con precisión la cantidad de sedimento producido en un sitio definido y delimitado, caracterizar su vulnerabilidad a los procesos erosivos y relacionar posteriormente las cantidades de suelo removido con la pluviosidad registrada en las estaciones pluviográficas cercanas a la zona de estudio.

3.5.3. Precipitación

Se midió haciendo uso de las estaciones pluviográficas cercanas a las parcelas de estudio; expresada en milímetros (mm).

Los datos de pluviosidad, para el periodo de prueba, se obtuvieron mediante la aplicación del software “Lluvias erosivas”, desarrollado por Gómez (2002) y el área de apoyo Informático de Estudios Básicos del ICE.

3.5.4. Infiltración básica

Se realizó una prueba por grado de pendiente y uso de suelo. Efectuándose al final un total de doce pruebas. Cuyos resultados se expresaron en milímetros por hora (mm/h).

El método utilizado fue el de anillos concéntricos. Este consiste en tomar dos cilindros con diámetros de treinta y sesenta centímetros con una altura de treinta centímetros. Colocándose uno dentro del otro, se entierran quince centímetros. El espacio entre los cilindros debe permanecer con una altura de agua constante, mientras en el cilindro de menor diámetro se toma el tiempo que tarda el nivel del agua en bajar un centímetro, hasta que el tiempo sea más o menos constante se detiene la prueba (Núñez 1999).

Mediante la ecuación 1 se obtiene el valor de infiltración básica.

$$I_b = L_i/T_c \dots\dots\dots(\text{Ec.1})$$

Donde:

Ib: infiltración básica (mm/h)

Li: lámina infiltrada (mm)

Tc: intervalo en el cual la infiltración se vuelve constante (h)

3.5.5. Resistencia a la penetración

La resistencia a la penetración se midió directamente en el campo por medio de un penetrómetro marca Controls. Se efectuó una prueba por parcela de monitoreo para cada uso de suelo. Efectuándose al final un total de cuarenta y ocho pruebas. Se realizaron diez mediciones por parcela. Los datos se expresan en Newton (N) (Figura 4).

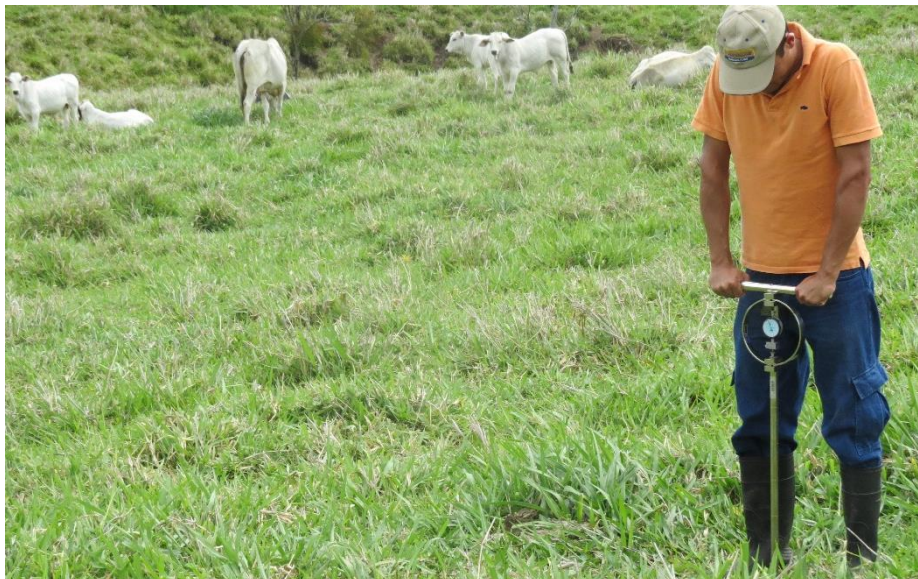


Figura 4. Medición de resistencia a la penetración realizada en una parcela instalada en la microcuenca alta bajo el uso de ganadería extensiva de carne, Guanacaste. Agosto, 2015.

3.5.5.1. Análisis físico del suelo

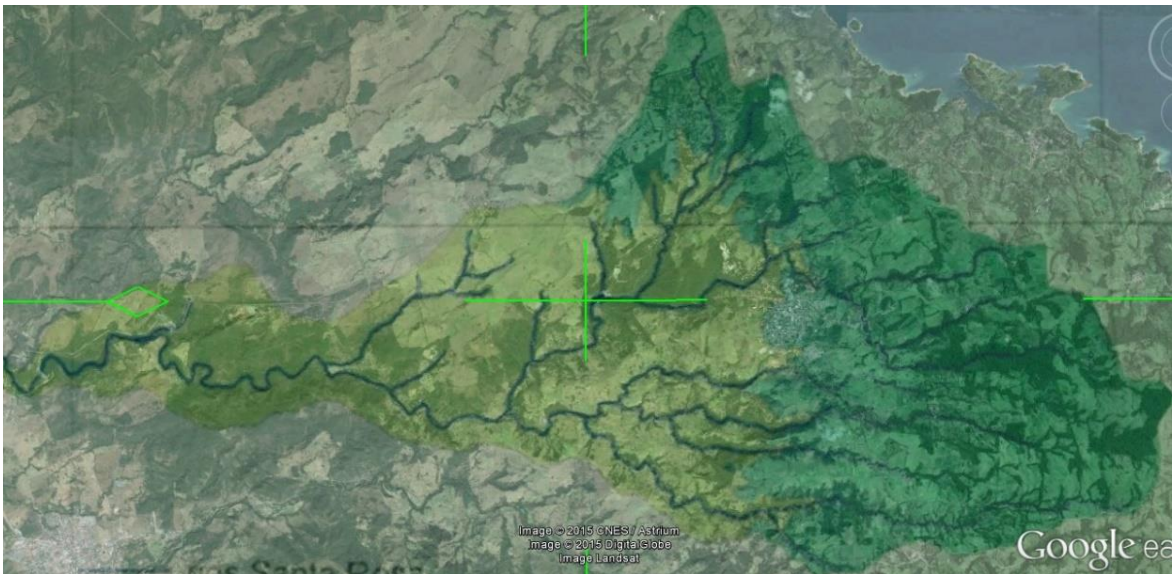
Se realizó un análisis de textura, densidad aparente y granulometría para cada una de las cuarenta y ocho parcelas de monitoreo. El análisis se realizó en el Laboratorio de Análisis Agronómicos del Tecnológico de Costa Rica. Ver Anexo 1.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. División de la microcuenca

Debido a la variabilidad de las características de cobertura de pasto, clima, precipitación anual, zonas de vida de Holdridge y las prácticas de manejo de la ganadería presentes en la microcuenca del río Santa Rosa, se dividió en dos unidades de manejo y estudio diferentes, a saber: la microcuenca baja y la microcuenca alta.

En la microcuenca alta (Figura 5) se presentan las zonas de vida bosque húmedo premontano, bosque húmedo tropical transición a premontano, bosque muy húmedo premontano y bosque muy húmedo premontano transición a pluvial, mientras que en la microcuenca baja se presentan el bosque seco tropical, bosque húmedo premontano transición a tropical y bosque húmedo tropical transición a seco.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5. Mapa de la división de la microcuenca del río Santa Rosa, Guanacaste. En color verde claro se identifica la microcuenca baja y en color verde oscuro la microcuenca alta, del río Santa Rosa. Abril, 2015.

La microcuenca baja del río Santa Rosa (Figura 5) comprende las elevaciones desde 50 m.s.n.m. hasta los 540 m.s.n.m., tiene una superficie de 5.421 hectáreas, área utilizada para el desarrollo del sistema de ganadería extensiva de carne. Por su parte, la microcuenca alta del río Santa Rosa tiene una superficie de 5.024 hectáreas, comprendiendo las elevaciones desde 540 m.s.n.m. hasta los 1038 m.s.n.m. en la cual se desarrolla de forma predominante la ganadería intensiva de leche y la ganadería extensiva de carne (Aguirre y Araya 2007).

4.2. Subdivisión por pendiente y uso del suelo de las microcuencas

Se definieron cuatro condiciones para cada uso de suelo, que corresponden a cuatro rangos de pendiente. En el caso de la microcuenca alta presenta dos usos de suelo, mientras que la microcuenca baja presenta un único uso. Estos usos están definidos por la carga animal, considerándose ganadería intensiva las cargas por sobre tres animales/ha, por su parte la ganadería extensiva contó con cargas por debajo de un animal/ha (Aguirre y Araya 2007). En total resultaron cuatro condiciones de pendiente, tres condiciones de uso, con cuatro repeticiones. La combinación de las condiciones se presenta en la Cuadro 2. Cada uno de estas condiciones contó con cuatro sitios de monitoreo.

Cuadro 2. Condiciones físicas y de manejo de los sitios de estimación de la erosión en la microcuenca del Río Santa Rosa, Guanacaste. Abril, 2015.

Condición	Pendiente	Uso de Suelo	Sub-división de la Microcuenca
T1	0-15 %	Ganadería intensiva	Alta
T2	15-30 %		
T3	30-45 %		
T4	45-60 %		
T1	0-15 %	Ganadería extensiva	Alta
T2	15-30 %		
T3	30-45 %		
T4	45-60 %		
T1	0-15 %	Ganadería extensiva	Baja
T2	15-30 %		
T3	30-45 %		
T4	45-60 %		

Fuente: Elaboración propia.

4.3. Medición de sedimentos en parcelas de monitoreo

En el Cuadro 3., se presenta la erosión promedio de las condiciones evaluadas en los diferentes usos de suelo que se destinan a la actividad ganadera en la microcuenca del río Santa Rosa. Por su parte, la Figura 4 muestra evidencia de la remoción de suelo en un área de pastura dedicada a la ganadería en la microcuenca del río Santa Rosa.

Cuadro 3. Cantidades de suelo removido por efecto de la erosión hídrica sobre las áreas destinadas a la actividad ganadera en la microcuenca baja y alta del río Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica. Periodo de evaluación del 18 de enero al 28 de julio del 2015.

Condición	Uso	Erosión (kg/ha)	E.E.
T1	AC	3	2
T1	AL	6	3
T1	B	0	0
T2	AC	13	5
T2	AL	20	5
T2	B	2	1
T3	AC	10	3
T3	AL	52	11
T3	B	23	11
T4	AC	151	18
T4	AL	184	48
T4	B	34	9

Donde T= pendiente; AC= microcuenca alta con ganadería extensiva; AL= microcuenca alta con ganadería intensiva; B= microcuenca baja con ganadería extensiva; E.E.= error estándar.

Mediante el análisis de los promedios de los datos (Cuadro 3), se estimó que el potencial de erosión de la microcuenca del río Santa Rosa para el periodo de evaluación, es de 16kg/ha, iniciando la evaluación el 18 de enero y concluyendo el 28 de julio del 2015.

Estos datos coinciden con las bajas cantidades de suelo transportado por la erosión laminar reportadas por Acuña (2010), donde describe que “para el tipo de uso de suelo de pasto se determinó una tasa de erosión entre 0,01ton/ha y 0,03ton/ha” para la micro cuenca baja del río Santa Rosa en Tilarán, Guanacaste

durante un periodo de evaluación de ocho meses que compendió de enero agosto del año 2009.

Es evidente que el volumen de suelo erosionado se considerado dentro del ámbito de erosión baja, de acuerdo a los criterios de clasificación de la FAO, citados por Marchamalo (2004), donde se establece que se considera como erosión baja cantidades de suelo removido menores a 10 ton/ha/año. En la Figura 6. se muestra las cantidades de sedimentos colectados en las dos diferentes parcelas de monitoreo.



Figura 6. Sedimentos colectados en dos diferentes parcelas de monitoreo, (A) corresponde a una parcela de la microcuenca baja de uso dedicado a la ganadería extensiva y (B) corresponde a una parcela de la microcuenca alta del río Santa Rosa, de uso dedicado a la ganadería intensiva, Guanacaste, Costa Rica. Setiembre, 2015.

4.3.1. Estimación del efecto de la pendiente sobre la pérdida de suelo

Se observó que los suelos con pendiente menor al 15% presentan valores muy bajos de erosión, siendo éstos los que abarcan mayor extensión del área de la microcuenca (Cuadro 4).

Cuadro 4. Relación entre la pendiente de los suelos y la erosión en la microcuenca del río Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica. Noviembre, 2015.

Pendiente (%)	Área (ha)	Erosión estimado (ton)	Erosión (kg/ha)	Erosión (%)
0-15	4805	14,41	3	8,64
15-30	3447	41,36	12	24,8
30-45	1671	46,79	28	28,05
45-60	522	64,24	123	38,51
Total	10445	166,80	16	100

El Cuadro 4. presenta los valores estimados de sedimento colectado en cada uno de los ámbitos de pendiente en estudio. Se muestra el total de sedimento estimado y el aporte porcentual para cada ámbito de pendiente; en donde destacan las pendientes mayores a quince por ciento como las que generan mayor aporte de sedimentos, ya que estos aportan el 91,36% de la estimación del suelo erosionado en la microcuenca del río Santa Rosa, la cual presentó una erosión estimada para la microcuenca de 166.800 kg (166 toneladas), durante el periodo de estudio. Los datos muestran una tendencia creciente en la cantidad de erosión debido al aumento en la pendiente, lo cual concuerda con lo citado por Sancho y Villatoro (2005), ya que al incrementar la pendiente en una región aumenta la velocidad de escorrentía produciendo una erosión severa por la abrasión y el desplazamiento de los sedimentos

La Ley de Uso, Manejo y Conservación de Suelos de Costa Rica (1998) hace referencia a que las tierras aptas para el uso de cultivos limpios son las que presentan pendientes menores al 30% debido al potencial de erosión que poseen. Por su parte en la metodología de Determinación de Capacidad de Uso de las Tierras de Costa Rica (La Gaceta, 1988), describe que los suelos dedicados a la ganadería deben ser los suelos clase V, debido a que éstos presentan severas limitaciones para el desarrollo de cultivos anuales, semipermanentes, permanentes o bosque, por lo cual su uso se restringe para pastoreo o manejo de bosque natural.

Tomando en consideración lo anterior y el hecho de que el cultivo de pasturas para la alimentación del ganado mediante el método de pastoreo genera una cobertura vegetal perenne sobre el suelo que reduce la fuerza de la erosión al disminuir el escurrimiento (Duran *et al.*2002), se pudo afirmar que las

pendientes inferiores al 30% no representan problemas de erosión debido a que el uso que se hace de estas en los sistemas ganaderos de la microcuenca del río Santa Rosa representa un valor permisible según la FAO (1996).

Sin embargo, es necesario destacar que la erosión de las tierras con rangos de pendientes menores a 30% no mostró diferencias estadísticamente significativas entre ellas (Cuadro 5).

Cuadro 5. Efecto de la pendiente sobre la erosión en suelos dedicados a la ganadería en la microcuenca del río Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica. Noviembre, 2015.

Pendiente (%)	Erosión (kg/ha)	
0-15	3	A
15-30	12	A
30-45	28	A
45-60	123	B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$) según la prueba de Bonferroni

Además, se observó que al aumentar la pendiente, aumenta la tasa de pérdida de suelo. El coeficiente de determinación (R^2) fue 0.59 (Figura 7). Esta tendencia fue estadísticamente significativa, la cual coincide con FAO (1996), el cual señala un comportamiento exponencial del modelo de la erosión versus la pendiente.

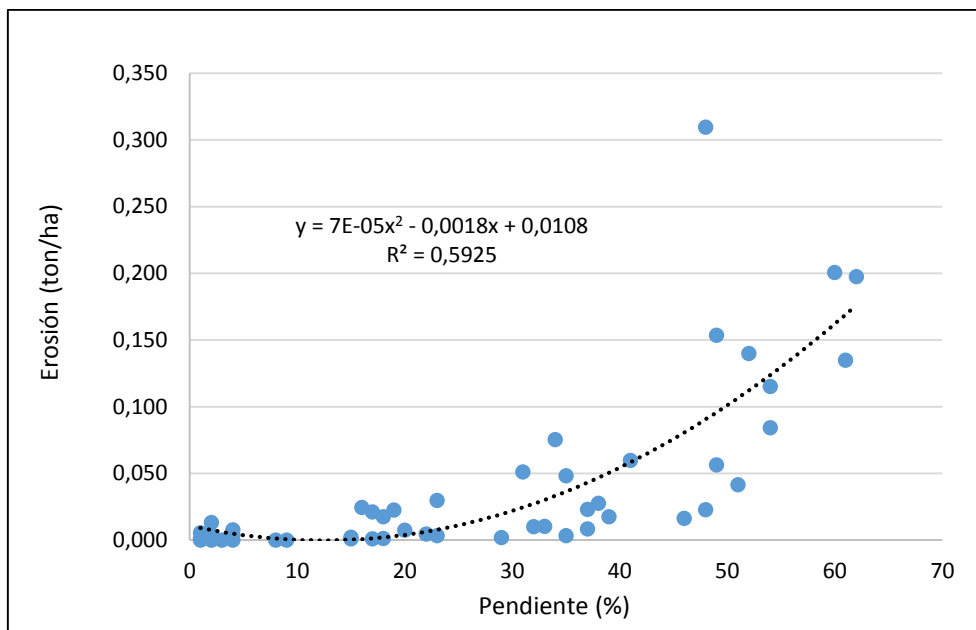


Figura 7. Efecto de la pendiente sobre la erosión en las parcelas de monitoreo, en la microcuenca del río Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica. Noviembre, 2015.

4.3.2. Estimación del efecto del uso del suelo dedicado a la ganadería sobre la pérdida de suelo

La estimación de la erosión asociada a cada uno de los tipos de uso de las tierras no mostró diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) (Cuadro 6). Un factor que pudo haber influenciado dicho comportamiento es la cobertura del suelo, ya que el efecto del cultivo y las prácticas de manejo inciden el potencial de pérdida de suelo.

Cuadro 6. Erosión estimada debida al uso en suelos dedicados a la ganadería en la microcuenca del río Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica. Noviembre, 2015.

Uso	Erosión (kg/ha)	
B	15	A
AC	44	A
AL	65	A

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$) según la prueba de Bonferroni

Donde AC= microcuenca alta con ganadería extensiva; AL= microcuenca alta con ganadería intensiva; B= microcuenca baja con ganadería extensiva.

Como menciona Duran *et al.* (2002), la cobertura vegetal reduce la fuerza de la erosión, reduce la velocidad del agua sobre la superficie, mejora la porosidad y cohesión del suelo mediante las raíces, aumenta la macroporosidad y restringe físicamente el movimiento del suelo, por lo que es importante mencionar que las pasturas utilizadas en las praderas de la microcuenca del río Santa Rosa son pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) y Brizantha (*Brachiaria brizantha*). En ambos casos se pudo observar que durante el periodo de estudio la cobertura que dan al suelo dichas pasturas es homogénea.

Además, como menciona Schwab *et al.* (1990), los factores climáticos que intervienen en la erosión son la precipitación, la temperatura, el viento, la humedad y la radiación solar. La lluvia en conjunto con el viento son quienes afectan de manera más directa el suelo. Como se observa en el Figura 8, el estudio se realizó durante la época de menor precipitación lluviosa. Según Aguirre y Araya (2007), la microcuenca del río Santa Rosa presenta un rango de precipitación 1.950-4.500 mm/año para la microcuenca alta y la microcuenca baja con una precipitación de 1.100 a 1.500 mm/año y para el período de estudio las precipitaciones en la zona más lluviosa no alcanzó los 550 mm.

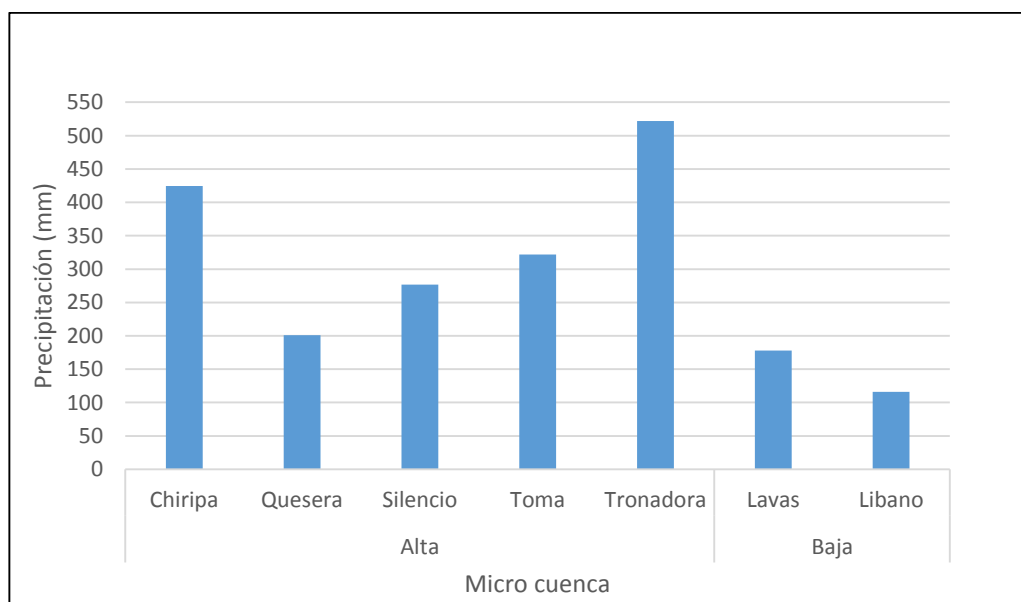


Figura 8. Cantidad de precipitación para cada microcuenca del río Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica. Noviembre, 2015.

4.4. Comparación de la resistencia a la penetración generada por la ganadería intensiva y extensiva

No se encontró diferencias estadísticamente significativas en la resistencia a la penetración asociada al tipo de uso, es decir, no se determinó diferencia entre usos en la zona alta. En cambio sí se encontró diferencias entre los dos pisos altitudinales (Cuadro 7).

A pesar de tener más carga animal en las áreas dedicadas a la ganadería intensiva, eso no afectó la resistencia a la penetración, probablemente debido a las características de los suelos (textura de media a gruesa), y a que en su mayoría se trata de suelos con cobertura en toda la superficie.

Cuadro 7. Resistencia a la penetración estimada de las diferentes condiciones en suelos dedicados a la ganadería en la microcuenca del río Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica. Noviembre, 2015.

Condición	Uso	Resistencia a la penetración (N)	
T1	AC	381	A
T1	AL	401	A
T2	AL	434	A
T2	AC	451	A
T3	AL	457	A
T3	AC	462	A
T4	AC	467	A
T4	AL	486	A
T1	B	740	B
T2	B	829	B
T3	B	891,2	B
T4	B	918	B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$) según la prueba de Bonferroni.

Donde T= pendiente; AC= microcuenca alta con ganadería extensiva; AL= microcuenca alta con ganadería intensiva; B= microcuenca baja con ganadería extensiva.

Por su parte, las correlaciones estimadas entre las distintas variables son muy bajas y no permiten explicar si existe relación entre ellas y la resistencia a la penetración en los distintos usos del suelo (Cuadro 8 y 9).

Cuadro 8. Correlación estimada de la variable porcentaje de arcilla con respecto a la resistencia a la penetración en las diferentes condiciones evaluadas en la microcuenca del río Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica. Abril, 2016.

	Arcilla	Resistencia a la Penetración (N)
Arcilla	1	
Resistencia a la Penetración (N)	0,59	1

La información obtenida no coincide con Agüero y Alvarado (1983), quienes señalan que la resistencia a la penetración del suelo se refiere a un aumento de su densidad como resultado de presiones o cargas aplicadas al mismo, por lo que la resistencia a la penetración, se ve afectada por factores como el contenido de humedad, textura y tipo de material arcilloso.

La carga animal es una de las fuerzas de compactación que favorece la compactación superficial, aumentando la densidad aparente de los primeros centímetros del suelo y con esto su resistencia a la penetración, fenómeno que está asociado a bajos contenidos de materia orgánica y altos contenidos de limo, según Agüero y Alvarado (1983), sin embargo, en este estudio no se logró explicar la relación entre las variables de densidad aparente y porcentaje de arcillas.

Cuadro 9. Correlación estimada de la variable densidad aparente con respecto a la resistencia a la penetración en las diferentes condiciones evaluadas en la microcuenca del río Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica. Abril, 2016.

	Resistencia a la Penetración (N)	Densidad aparente (%)
Resistencia a la Penetración (N)	1	
Densidad aparente (%)	0,26	1

4.5. Comparación del grado de infiltración de agua en el suelo entre áreas dedicadas a la ganadería intensiva y extensiva.

La Figura 9. presenta las 12 evaluaciones de infiltración realizadas, analizando la gráfica se extrae que el comportamiento entre las pruebas es similar en áreas de ganadería extensiva e intensiva en la microcuenca alta, este comportamiento se atribuye a que corresponde a las mismas condiciones edáficas y con cobertura vegetal similar, por su parte, la microcuenca baja presenta un grado de infiltración menor, no obstante no es posible determinar alguna diferencia entre la microcuenca alta y baja.

Sin embargo, como mencionan Agüero y Alvarado (1983), la compactación reduce el espacio poroso del suelo, disminuyendo consigo la capacidad de infiltración de los primeros 5cm-15cm de suelo.

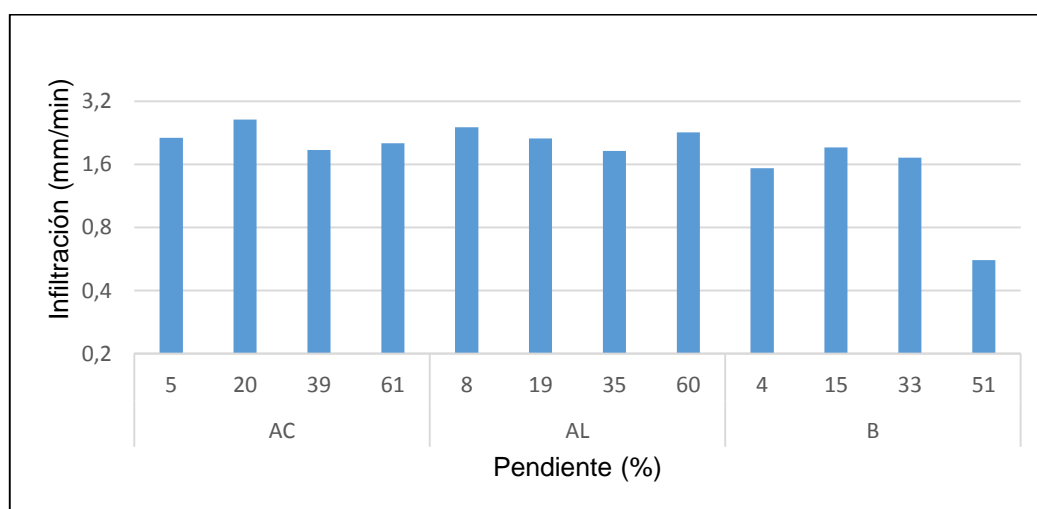


Figura 9. Efecto de la pendiente y del tipo de explotación (AC=microcuenca alta y ganadería extensiva, AL=microcuenca alta y ganadería intensiva, B=microcuenca baja y ganadería extensiva) sobre la infiltración en la microcuenca del río Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica, Noviembre, 2015.

4.5.1. Evaluación del efecto de la pluviosidad de la zona de estudio sobre la pérdida de suelo

Según FAO (1996), la lluvia es el principal motor de la erosión en las zonas tropicales y su evaluación contempla la duración y la intensidad de un evento lluvioso, además menciona que existe una relación inversa entre la intensidad y

la duración de las lluvias. A mayor duración del evento, menor intensidad, y por ende es menor su efecto erosivo. Como conclusión, la duración y la intensidad de la lluvia influyen sobre la magnitud del evento erosivo, sin embargo, el modelo que mejor explica el comportamiento de la pérdida de suelo con respecto a la precipitación es el que incluye la intensidad de la lluvia.

Fernández (2012) comprobó el modelo matemático citado por FAO (1996) que hace uso de la intensidad de lluvia para explicar el fenómeno de erosión hídrica en un cultivo de piña en la zona norte de Costa Rica. En el caso de la actividad ganadera desarrollada en la microcuenca del río Santa Rosa se hace uso del cultivo de pasturas, las cuales se genera una cobertura perenne sobre la superficie del suelo, esta cobertura vegetal reduce la fuerza de la erosión ya que absorbe la energía de las gotas de lluvia, interceptándolas al caer, reduciendo el escurrimiento (Duran *et al.*2002).

Además, retarda la erosión al reducir la velocidad del agua sobre la superficie, mejora la porosidad y cohesión del suelo mediante las raíces y los residuos de las plantas, aumenta la actividad biológica del suelo lo que se traduce en mayor macroporosidad y restringe físicamente el movimiento del suelo (Duran *et al.*2002).

La Figura 10. muestra la correlación entre infiltración básica e intensidad máxima de las doce evaluaciones de infiltración realizadas, se observó que al aumentar la intensidad de la precipitación, aumenta la infiltración del suelo. El coeficiente de determinación (R^2) fue 0.78, esta tendencia fue estadísticamente significativa, sin embargo, no concuerda con lo descrito por Núñez (2001), quien menciona que Costa Rica está expuesta a constantes precipitaciones, los cuales provocan altos contenidos de humedad en el suelo. Por tanto, al momento de darse un evento pluvial, estos altos contenidos de humedad permitirán que el suelo alcance la tasa de infiltración final en menor tiempo. Es así que la intensidad es un factor que provoca que el suelo alcance en menor tiempo los estados de saturación, beneficiando de esta forma el flujo de escorrentía y con esto los procesos erosivos. El modelo de regresión lineal muestra que

únicamente el 9% de la relación entre ambas variables es explicada por la intensidad de la lluvia.

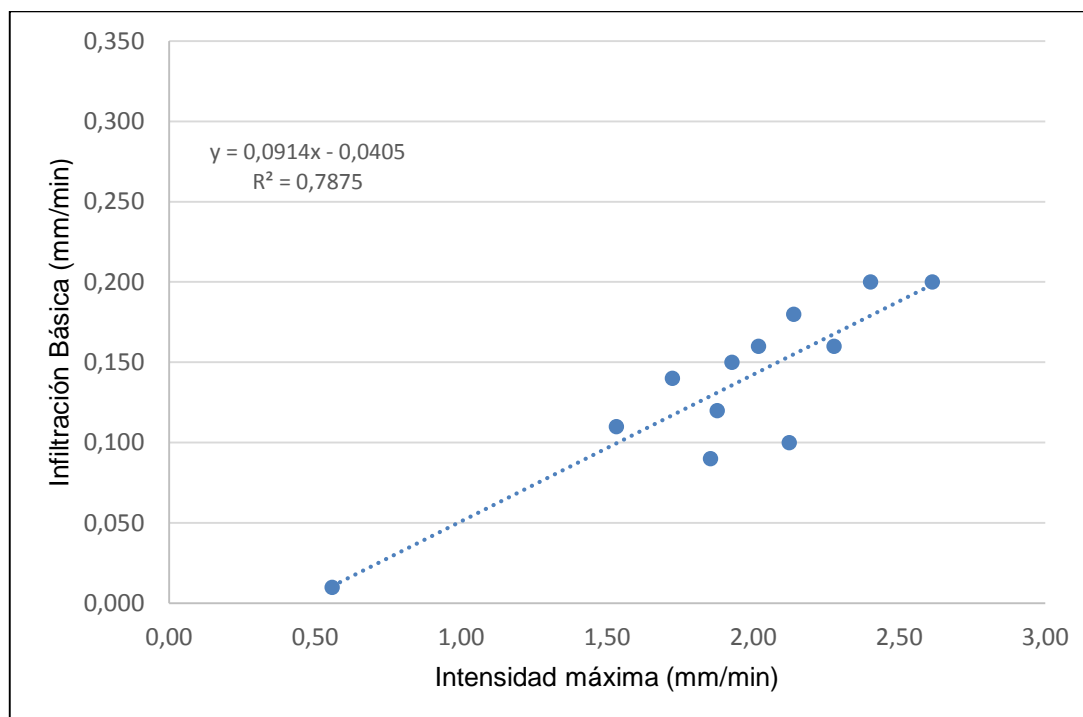


Figura 10. Relación entre la intensidad máxima de la lluvia y la infiltración básica en los suelos de la microcuenca del río Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica. Noviembre, 2015.

Como consecuencia de las características físicas de los suelos de la microcuenca del río Santa Rosa se obtiene que los suelos son en su mayoría franco arenosos. Esto explica el bajo volumen de suelo erosionado (menor a 10 ton/ha/año), de acuerdo a los criterios de clasificación de la FAO, citados por Marchamalo (2004), dado a que la precipitación máxima durante cada evento fue menor a la capacidad de infiltración de los suelos dedicados a la ganadería extensiva e intensiva en la microcuenca del río Santa Rosa, sin embargo, como menciona Núñez (2001), al momento de darse un evento pluvial, los altos contenidos de humedad permitirán que el suelo alcance la tasa de infiltración final en menor tiempo, caso que no ocurrió durante el período de estudio, ya que este se realizó del 18 de enero al 28 de julio del 2015, concordando con la época seca en la zona.

5. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones que se desarrolló este estudio, se concluye que:

1. Las parcelas de escorrentía permiten evaluar en periodos críticos las pérdidas de suelo.
2. La erosión de suelo estimada por efecto de la erosión hídrica en los suelos dedicados a la ganadería en la microcuenca del río Santa Rosa fue de 16 kg/ha, generada del 18 de enero al 28 de julio del 2015.
3. No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las condiciones con pendiente inferior al 45%, sin embargo sí se observó diferencia de estas con la condición de pendiente entre 45%-60%, ya que en este último caso la erosión fue de 123 kg, y las condiciones con pendiente de 0%-15% la erosión fue de 3 kg, en las pendientes de 15%-30% generaron 12 kg y en las pendientes de 30%-45% fue de 28 kg.
4. No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las condiciones de uso de ganadería extensiva e intensiva para la variable perdida de suelo, de igual forma, no hubo diferencias entre los usos de ganadería en la microcuencas alta y baja con respecto a la variable mencionada.
5. La compactación generada por la ganadería y las variables evaluadas, no permiten explicar si existe relación entre ellas y el grado de compactación en los distintos usos del suelo debido a que las correlaciones estimadas entre las distintas variables son muy bajas.
6. La comparación del grado de infiltración de agua en el suelo entre áreas dedicadas a la ganadería reflejaron un comportamiento similar entre las pruebas en áreas de ganadería extensiva e intensiva en la microcuenca alta, este comportamiento se atribuye a que

corresponden a las mismas condiciones edáficas, por su parte, la microcuenca baja presenta un grado de infiltración menor debido a la presencia de arcillas en mayor porcentaje y mayor compactación que en los suelos de la micro cuenca alta del río Santa Rosa.

7. El fenómeno que explica la poca erosión generada por la ganadería en la microcuenca del río Santa Rosa es debido a que la precipitación máxima durante cada evento fue menor a la capacidad de infiltración de los suelos en estudio, de forma que se disminuye la escorrentía, dada la época en que se desarrolló el estudio (verano).

6. RECOMENDACIONES

Profundizar el estudio a nivel de puntos críticos (deslaves) en las riberas del río Santa Rosa y cuantificar su aporte de sedimentos al cauce del río Santa Rosa.

Realizar trabajos de monitoreo de erosión para la actividad ganadera en época lluviosa, para estimar la erosión de la microcuenca del río Santa Rosa bajo dichas condiciones.

Realizar trabajos de monitoreo de erosión en contornos de caminos con taludes de suelo descubierto y con presencia de vegetación, que ayuden a determinar su influencia en el aporte de sedimentos Centro de Generación ArCoSa.

Realizar trabajos de monitoreo de sedimentos en el cauce del río Santa Rosa en diferentes pisos altitudinales y en diferentes épocas.

7. LITERATURA CITADA

- Acuña, S. 2010. Evaluación de la producción potencial de erosión en la microcuenca media-baja del río Santa Rosa, Tilarán, Guanacaste. Universidad de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Agrícola. San José, Costa Rica.
- Agüero, J; Alvarado, A. 1983. Compactación y compactibilidad de los suelos agrícolas y ganaderos de Guanacaste, Costa Rica. En línea: http://www.mag.go.cr/rev_agr/v07n1-2_027.pdf
- Aguilar, R. 2010. Evaluación de la producción potencial de erosión en la microcuenca media-alta del río Santa Rosa, Tilarán, Guanacaste. Universidad de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Agrícola. San José, Costa Rica.
- Aguirre, J; Araya, J. 2007. Caracterización general de la microcuenca del Río Santa Rosa. Centro Nacional de Planificación Eléctrica. Instituto Costarricense de Electricidad. San José, Costa Rica.
- Collotti, E. 1999. La erosividad: cualidad de la lluvia poco conocida. Revista Terra Nueva Etapa, volumen 24. Universidad Central de Venezuela. En línea: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=72102406>. Consultado: 10 de noviembre, 2014.
- Cubero, D. 1996. Manual de manejo y conservación de suelos y aguas. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Segunda Edición. Segunda Edición. Editorial Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica.
- Duran, V; Martínez, A; Aguilar, J. 2002. Control de la erosión en los taludes de bancales, en terrenos con fuertes pendientes. España. Revista Edafología, Universidad de Granada, Volumen 9. En línea: <http://edafologia.ugr.es/Revista/tomo9a/a1tex.pdf>. Consultado: 12 de noviembre de 2014.

- FAO, 1997. Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía. En línea: <http://www.fao.org/documents/es/detail/21143>. Consultado: 11 de noviembre de 2014.
- Fernández, M. 2012. Estimación de la erosión en una plantación de piña, en la Zona Norte de Costa Rica. Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Agronomía. San Carlos, Costa Rica.
- Furcal, P. 2010 Apuntes del curso de Manejo de Suelos. Tecnológico de Costa Rica. San Carlos, Costa Rica.
- Gómez, F. 2002. Evaluación de la erosión potencial y producción de sedimentos en tres cuencas de Costa Rica. Universidad de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Agrícola. San José, Costa Rica.
- Holdridge, L. 1987. Ecología basada en zonas de vida. IICA. San José, Costa Rica.
- INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD. 2006. Complejo hidroeléctrico Arenal, Miguel Pablo Dengo B. y Sandillal. San José, Costa Rica. En línea: www.grupoice.com. Consultado 5 de noviembre 2014.
- Kirkby, M; Morgan, R. 1984. Erosión de Suelos. 1º edición. Editorial Limusa. México.
- LA GACETA. 1988. Metodología Determinación Capacidad Uso Tierras de Costa Rica. Decreto N° 23214-MAG-MIRENEM. San José. Costa Rica.
- Marchamalo, S. 2004. Ordenación del territorio para la producción de servicios ambientales hídricos. Aplicación a la cuenca del río Birrís (Costa Rica). Departamento de Ingeniería Forestal. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.
- Millar, C; Turk, L; Foth H. 1980. Fundamentos de la ciencia del suelo. Compañía Editorial Continental S. A. Distrito Federal, México.

- Morgan, R. 2005. Soil Erosion and Conservation. 3° edición. Blackwell Publishing. Oxford, Reino Unido.
- Núñez, J. 2001. Manejo y conservación de suelos. 1°edición Editorial Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica.
- Núñez, J. 1999. Manual Laboratorio de Edafología. Escuela de Ingeniería Agrícola. Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.
- Prado, R. 2007. Manual de instalación de barreras con geotextil silt fence para la medición de la erosión en parcelas experimentales. Proyecto Plantón-Pacayas. Documento técnico N° 4: Área Aguas y Suelos. San José, Costa Rica.
- Prado, R. 2009. Metodología ajustada para la determinación de pérdidas de suelo en cultivos anuales y pastos. Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Agrícola. San José, Costa Rica.
- Sancho, F; Villatoro, M. 2005. Efecto de la posición de la pendientes sobre la productividad de tres secuencias de suelos en ambientes ústicos de Costa Rica. Revista Agronomía Costarricense. Volumen 29. San José, Costa Rica. En línea: <http://www.latindex.ucr.ac.cr/agrocostar-29-3/rac-29-3-12.pdf>. Consultado: 12 de noviembre de 2014.
- Schwab, G; Frevert, R; Edminister, T; Barnes, K. 1990. Ingeniería de conservación de suelos y aguas. Trad A Garza. 1 ed. México, Editorial Limusa.
- Torres, E. 1982. Manual de Conservación de Suelos Agrícolas. Editorial Diana. México.
- Vega, M; Febles, J. 2005. La investigación de suelos erosionados: métodos e índices de diagnóstico. Revista Minería y Geología. Cuba. En línea: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=223516049002>. Consultado: 10 de noviembre 2014.

Villón, M. 1979. Erosión. Cartago, Costa Rica, Editorial Tecnológica de Costa Rica.

8. ANEXOS

Anexo 1. Análisis físicos de suelos realizados en las diferentes parcelas experimentales.

No. LAB	Identificación de Campo	%			NOMBRE TEXTURAL
		ARENAS	ARCILLAS	LIMO	
S15-80	T1 AC 0-15 R1	61	22	17	Franco arcillo arenosa
S15-81	T1 AC 0-15 R2	61	22	17	Franco arcillo arenosa
S15-82	T1 AC 0-15 R3	64	17	20	Franco arenosa
S15-83	T1 AC 0-15 R4	56	24	20	Franco arcillo arenosa
S15-84	T2 AC 15-30 R1	66	19	15	Franco arenosa
S15-85	T2 AC 15-30 R2	66	17	17	Franco arenosa
S15-86	T2 AC 15-30 R3	61	24	15	Franco arcillo arenosa
S15-87	T2 AC 15-30 R4	58	24	17	Franco arcillo arenosa
S15-88	T3 AC 30-45 R1	66	16	18	Franco arenosa
S15-89	T3 AC 30-45 R2	64	21	15	Franco arcillo arenosa
S15-90	T3 AC 30-45 R3	61	24	15	Franco arcillo arenosa
S15-91	T3 AC 30-45 R4	61	24	15	Franco arcillo arenosa
S15-92	T4 AC 45-60 R1	61	21	17	Franco arcillo arenosa
S15-93	T4 AC 45-60 R2	64	19	18	Franco arenosa
S15-94	T4 AC 45-60 R3	70	15	15	Franco arenosa
S15-95	T4 AC 45-60 R4	68	17	15	Franco arenosa
S15-96	T1 AL 0-15 R1	49	34	17	Franco arcillo arenosa
S15-97	T1 AL 0-15 R2	59	26	15	Franco arcillo arenosa
S15-98	T1 AL 0-15 R3	67	18	15	Franco arenosa
S15-99	T1 AL 0-15 R4	69	15	15	Franco arenosa
S15-100	T2 AL 15-30 R1	57	25	18	Franco arcillo arenosa
S15-101	T2 AL 15-30 R2	57	28	16	Franco arcillo arenosa
S15-102	T2 AL 15-30 R3	67	20	13	Franco arcillo arenosa
S15-103	T2 AL 15-30 R4	64	20	15	Franco arcillo arenosa
S15-104	T3 AL 30-45 R1	52	23	25	Franco arcillo arenosa
S15-105	T3 AL 30-45 R2	59	23	18	Franco arcillo arenosa
S15-106	T3 AL 30-45 R3	59	25	16	Franco arcillo arenosa
S15-107	T3 AL 30-45 R4	59	25	16	Franco arcillo arenosa
S15-108	T4 AL 45-60 R1	54	25	21	Franco arcillo arenosa
S15-109	T4 AL 45-60 R2	67	17	16	Franco arenosa
S15-110	T4 AL 45-60 R3	57	25	18	Franco arcillo arenosa
S15-111	T4 AL 45-60 R4	62	18	21	Franco arenosa
S15-112	T1 B 0-15 R1	67	21	12	Franco arcillo arenosa
S15-113	T1 B 0-15 R2	62	26	12	Franco arcillo arenosa
S15-114	T1 B 0-15 R3	52	33	15	Franco arcillo arenosa
S15-115	T1 B 0-15 R4	54	31	15	Franco arcillo arenosa
S15-116	T2 B 15-30 R1	61	21	18	Franco arcillo arenosa
S15-117	T2 B 15-30 R2	59	18	23	Franco arenosa
S15-118	T2 B 15-30 R3	58	26	16	Franco arcillo arenosa
S15-119	T2 B 15-30 R4	56	31	13	Franco arcillo arenosa
S15-120	T3 B 30-45 R1	55	32	13	Franco arcillo arenosa
S15-121	T3 B 30-45 R2	65	19	15	Franco arenosa
S15-122	T3 B 30-45 R3	50	35	15	Franco arcillo arenosa
S15-123	T3 B 30-45 R4	48	37	15	Arcillosa arenosa
S15-124	T4 B 45-60 R1	38	42	20	Arcillosa
S15-125	T4 B 45-60 R2	53	30	18	Franco arcillo arenosa
S15-126	T4 B 45-60 R3	38	37	25	Franco arcillosa
S15-127	T4 B 45-60 R4	50	32	18	Franco arcillo arenosa