

**UNIVERSIDAD NACIONAL
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO
MAESTRÍA EN AGRICULTURA ECOLÓGICA**

**Efecto de los pastos mejorados *Brachiaria
brizantha* (Marandú y Xaraés) y la pastura Ratana
(*Ischaemum indicum*) en la conservación de suelo en la
parte alta de la cuenca del río Peñas Blancas de San
Ramón.**

Alejandro Jiménez Herrera

Heredia, Costa Rica, Julio 2021.

Tesis sometida a consideración del Tribunal Examinador del Posgrado en Agricultura Ecológica de la Escuela de Ciencias Agrarias, para optar por el grado de *Magister Scientiae* en Agricultura Ecológica.

Efecto de los pastos mejorados *Brachiaria brizantha* (Marandú y Xaraés) y la pastura Ratana (*Ischaemum indicum*) en la conservación de suelo en la parte alta de la cuenca del río Peñas Blancas de San Ramón.

Alejandro Jiménez Herrera

Tesis sometida a consideración del Tribunal Examinador del Posgrado en Agricultura Ecológica de la Escuela de Ciencias Agrarias, para optar por el grado de *Magíster Scientiae* en Agricultura Ecológica.

MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

M.Sc. Randall Gutiérrez Vargas
Representante del Consejo Central de Posgrado

Ph.D. Martha Orozco Aceves
Coordinadora de la Maestría en Agricultura Ecológica

Dr. Mario Villatoro Sánchez
Tutor de tesis

M.Sc. Fernando Mojica Betancourt
Miembro del Comité Asesor

M.Sc. Arnoldo Gadea Rivas
Miembro del Comité Asesor

Alejandro Jiménez Herrera
Sustentante

Descriptorios

Pastos, sedimentos, erosión, suelo, ganadería, precipitación.

Resumen

La presente investigación surge de la necesidad de contar con información sobre prácticas agroecológicas adecuadas para el manejo de zonas de pastos para la producción ganadera en el contexto del trópico costarricense. Específicamente, se estudió la interacción de tres tipos de pastos (*Brachiaria brizantha* c.v. Marandú, *Brachiaria brizantha* c.v. Xaraés e *Ischaemum indicum* o pasto Ratana), el fenómeno de la precipitación y el pastoreo, y cómo estos factores influyen en la pérdida de sedimentos de suelo por erosión hídrica. Esta información es de utilidad para la toma de decisiones; por ejemplo, para instituciones como el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), sobre líneas de investigación y transferencia de tecnología encaminadas a tener una buena productividad, conservando y protegiendo el suelo. El objetivo de la investigación fue evaluar la erosión hídrica del suelo sembrado con los pastos Marandú, Xaraés y Ratana sometidos a pastoreo, en la parte alta de la cuenca del Río Peñas Blancas, San Ramón, Alajuela, para determinar qué tipo de pasto ofrece mayor protección al suelo ante eventos de precipitación típicos de la zona. La investigación se realizó entre los meses de abril y diciembre de 2019. Para determinar la pérdida de sedimentos, se utilizó la metodología de parcelas de esorrentía con instalación de geotextil. La evaluación de la erosión se condujo bajo un diseño de parcelas divididas en el tiempo, donde el factor A o principal fue el tipo de pasto (con tres niveles constituidos por los tres pastos presentes en cada finca) con tres repeticiones por tipo de pasto; y el factor B o sub unidades fueron las láminas de lluvia acumulada (seis agrupaciones establecidas). El diseño experimental de las parcelas fue completamente al azar, y la información obtenida se analizó mediante la técnica de Modelos Lineales Mixtos y Generales (MLMix) y posterior prueba de comparación múltiple de Bonferroni. Además, se compararon los coeficientes de tres regresiones (tipo exponencial) para predecir producción de sedimento (una para cada tipo de pasto) mediante el uso de la ecuación de ajuste entre sedimentos y propiedades de la precipitación. Por otro lado, se calcularon los índices de Fournier modificad (IFM) y el Factor R, para clasificar la

erosividad de las lluvias en la zona de estudio. Finalmente se realizó una caracterización físico-química y biológica del suelo sembrado con cada uno de los tres pastos para conocer cuáles de esos indicadores están asociados a fenómenos erosivos. La caracterización se condujo bajo un diseño de muestreo por puntos. Respecto a los promedios de pérdida de sedimentos, no se determinó diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$) de acuerdo con el tipo de pasto, o con base en los grupos de precipitación establecidos. La pérdida de sedimento en el periodo de los nueve meses del estudio fue de $4,5 \text{ g/m}^2$ para el Xaraés, 7 g/m^2 para el Marandú y $8,3 \text{ g/m}^2$ para Ratana. Al analizar la interacción entre tipo de pasto y grupos de precipitación, el Ratana, este registró la mayor pérdida de sedimentos. Por otro lado, el análisis de regresión evidenció que el pasto Xaraés ofreció la mayor protección al suelo contra el efecto de lluvias y por tanto, de los tres pastos el que tuvo menor pérdida de sedimentos. También se evidenció al Marandú como el segundo pasto, con mayor generación de sedimentos y principal afectado por la erosividad de las lluvias. Los análisis mostraron una baja correlación entre intensidades de lluvias y erosión del suelo. La erosividad de las lluvias en la zona se considera natural, según la clasificación del Índice de Factor R. Los resultados de los indicadores físicos evidenciaron a la textura del suelo como la característica de suelo más importante en la interacción suelo-pasto-sedimentos en el caso del Marandú. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en densidad aparente, densidad de partículas, porosidad y estabilidad de agregados. Los indicadores químicos de los suelos en los apartos sembrados de Marandú, presentaron significativamente mayores valores de acidez, Mg, CICE, Zn y Mn, y valores ligeramente menores de N% y C% que los apartos de los suelos sembrados de Ratana y Xaraés ($P < 0,05$). Respecto a los indicadores biológicos no hubo diferencias significativas. Se concluye que, en áreas con pendiente, el tipo de pasto a establecer en los sistemas ganaderos puede jugar un papel importante en la conservación del suelo, manteniendo sus condiciones físicas, químicas, biológicas e hidrológicas, y con

ello promoviendo la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. De los tres pastos evaluados, el pasto Xaraés mostró el mayor potencial de protección al suelo ante la pérdida de sedimentos.

Abstract

This research arose from the necessity of information on appropriate agroecological practices for the management of pasture areas for livestock production in the context of the Costa Rican tropics. Specifically, it studied the interaction among three types of pastures (*Brachiaria brizantha* cv. Marandú, *Brachiaria brizantha* cv Xaraés and *Ischaemum indicum* or Ratana grass), the phenomenon of precipitation, grazing, and how these can influence the soil sediment loss. This information can be useful for decision-making institutions, such as the Costa Rican Electricity Institute (ICE), in order to determine areas of research and technology transfer, all aimed at having good productivity, conserving and protecting the soil. The objective of the research was to evaluate the water erosion of soils sown with the pastures Xaraés, Marandú and Ratana subjected to grazing, in the upper part of the Peñas Blancas River watershed, San Ramón, Alajuela, to determine what type of grass offers greater protection to the ground in the face of typical precipitation events in the area. The research was carried out between the months of April and December of 2019. To ascertain the production of sediment loss, the methodology of runoff plots with geotextile installation was implemented. The erosion evaluation was conducted under a design of plots divided in time, where the main factor A was the type of grass (with three levels consisting of the three grasses present in each farm) with three repetitions per type of grass, and the factor B or sub units was the set of accumulated rain deep (six groups). The information was analyzed using the mathematical model of a completely randomized design, and the comparison between treatments was carried out with the Linear Mixed and General Models (MLMix) technique and subsequent Bonferroni multiple comparison test. In addition, the coefficients of three regressions (one for each type of grass) were compared by using the adjustment equation between sediments and precipitation. Moreover, the modified Fournier index (MFI) and the R Factor were calculated to classify the erosivity of the precipitation in the study area. Finally, a physical-chemical and biological characterization of the soil sown with each of the three pastures was performed to know which of these

indicators were associated with sediment loss. The characterization was conducted under a point sampling design. Regarding the generation of sedimentation, no statistically significant differences ($P < 0,05$) were determined according to types of pasture or precipitation groups. The soil loss during the nine-month period of the study was 4.5 g / m^2 for Xaraés, 7 g / m^2 for Marandú and 8.3 g/m^2 for Ratana. When analyzing the interaction between grass and precipitation groups, the Ratana, was the grass with the highest amount of sediment production, which translates into a greater susceptibility to water erosion of the soil. On the other hand, the simple linear regression analysis showed that the Xaraés grass offered the greatest protection to soil against the erosive effect of rain, and therefore, out of the three grass types, the one that promoted less sediment loss. Marandú grass was evidenced as the pasture with second highest generation of sediments loss and mainly affected by the erosivity of the rains. In general, the analyzes showed a low correlation between rainfall intensities and soil erosion. The erosivity of the area is considered natural, according to the classification of the R Factor Index. The results of soil physical indicators evidenced the soil texture as the most important soil characteristic within the soil-grass interaction driving sediment loss in the case of the Marandú grass. No statistically significant differences were found in soil characteristics such as bulk density, particle density, porosity, and aggregate stability. The chemical indicators of the soils under the influence of Marandú grass, presented significantly higher values for acidity, Mg, Zn and Mn concentrations and CEC, and slightly lower values of N% and C%, when compared with characteristics of soils sown with Ratana and Xaraés ($P < 0,05$). Regarding soil biological indicators, there were no significant differences among them. It is concluded that in sloping areas, the type of pasture to be established in livestock systems can play an important role in soil conservation, maintaining its physical, chemical, biological, and hydrological conditions, and thereby promoting the sustainability of the agricultural systems. Xaraés grass exhibited the highest potential to protect soil against erosion due precipitation.

Agradecimiento

En primera instancia al Dr. Mario Villatoro, por la anuencia como director de tesis, así como la disposición en la realización de giras al sitio donde se realizó la investigación.

A la profesora de estadística del Tecnológico de Costa Rica, sede Santa Clara de San Carlos, M.Sc. Marlen Camacho Calvo por la amabilidad y colaboración en el proceso de análisis estadístico de los datos.

Al Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), específicamente al Área Socioambiental de la Región Central por colaborar tanto con la mayor parte del financiamiento económico del trabajo de investigación, como en el establecimiento de las parcelas experimentales, mantenimiento y modificación de las mismas. Especialmente al ingeniero Herberth Villalobos Soto, quien gestionó tanto la compra de materiales, transporte, equipo y personal para el establecimiento y posterior retiro de los materiales de cada una de las parcelas.

Al señor Freddy Herrera Rodríguez, su hija Gabriela Herrera Blanco y nieto Marlon Vega Herrera, quienes en distintas ocasiones colaboraron en giras de campo, para levantar información así como mantenimiento y limpieza de las parcelas.

A los funcionarios del laboratorio de Entomología de la Escuela de Agronomía del Instituto Tecnológico de Costa Rica, sede Santa Clara de San Carlos; Ph.D. Carlos Ramírez Vargas y Ph.D. Joaquín Duran Mora, por la facilidad dada para hacer uso de las instalaciones y horno para secado de los sedimentos.

A los señores Enrique Zamora Gonzales y Luis Alonso Jiménez Oviedo por la anuencia a poder desarrollar el proceso de la investigación en sus fincas.

Dedicatoria

A mis Padres, José Antonio Jiménez Méndez y Mayela Herrera Cruz, quienes desde la niñez me procuraron el desarrollo del hábito por el estudio así como la oportunidad de formarme académicamente.

A la memoria de Saulo Madrigal, profesor del INA, quien fue la principal persona que me orientó hacia el campo de la Agroecología. Siempre se le recuerda con mucho aprecio.

Índice

Capítulo I: Introducción	1
Objetivos	3
Capítulo II: Marco Teórico.....	4
<u>1.</u> Aspectos generales del suelo	4
<u>2.</u> Degradación del suelo asociada a fenómenos de erosión	7
<u>3.</u> Erosión hídrica	8
<u>4.</u> Características del suelo asociadas a procesos erosivos.....	9
<u>5.</u> Erosividad de la lluvia.....	12
<u>6.</u> Técnicas y materiales para medir erosión.....	13
<u>7.</u> Procesos de erosión en pastos destinados a la producción pecuaria.....	15
<u>8.</u> Pastos utilizados en los sistemas pecuarios costarricenses	16
Capítulo III: Materiales y métodos	24
<u>1.</u> Área del estudio.....	24
<u>2.</u> Selección de sitios para establecer las parcelas de escorrentía	28
<u>3.</u> Instalación de las barreras de geotextil	28
<u>4.</u> Toma y procesamiento de datos y análisis de la información.....	31
<u>5.</u> Caracterización de suelos de las parcelas de escorrentía	38
Capítulo IV. Resultados y Discusión	40
<u>1.</u> Producción de sedimentos en parcelas de escorrentía	40
<u>2.</u> Determinación de la erosividad.....	46
<u>3.</u> Caracterización de los suelos en las parcelas de escorrentía.....	50
Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones	56
Conclusiones.....	56
Recomendaciones.....	57
Bibliografía	59
Anexos.....	72

Lista de cuadros

Cuadro 1. Valores promedio (\pm DE) de la pérdida de sedimentos (por visita de muestreo) a partir de suelos sembrados con pastos mejorados <i>Brachiaria brizantha</i> (Marandú y Xaraés) e <i>Ischemum indicum</i> (Ratana) en la parte alta de la cuenca del río Peñas Blancas.	40
Cuadro 2. Valores promedio (\pm DE) de sedimentos producidos, para cada uno de los grupos de rangos establecidos, según láminas de lluvia acumulada, registradas para cada visita (cada 15-22 días) durante el periodo del estudio (9 meses).....	41
Cuadro 3. Valores promedio (\pm DE) de pérdida de sedimento medida de acuerdo con precipitación acumulada de manera bimensual durante el periodo del estudio (9 meses).	44
Cuadro 4. Pérdida de sedimentos promedio expresada en t/ha/mes y clasificación de erosión asociada, para cada uno de los pastos evaluados.	44
Cuadro 5. Clasificación de la agresividad de lámina de lluvia acumulada (quincenalmente), según Índice de Fournier Modificado, para el sitio de estudio en la parte alta de la cuenca del río Peñas Blancas.	47
Cuadro 6. Clasificación de la erosividad de precipitaciones según Factor R, para el sitio de estudio en la parte alta de la cuenca de Peñas Blancas.	49
Cuadro 7. Valores promedio (\pm DE) de los indicadores físicos de los suelos sembrados con los tres pastos evaluados en la parte alta de la cuenca del río Peñas Blancas.	51
Cuadro 8. Valores promedio (\pm DE) de las características químicas de los suelos sembrados con los tres pastos evaluados en la parte alta de la cuenca de Peñas Blancas.	52
Cuadro 9. Valores promedio (\pm DE) de las características biológicas de los suelos sembrados con los tres pastos evaluados en la parte alta de la cuenca del río Peñas Blancas.	55

Lista de Figuras

Figura 1. Ordenes de suelos presentes en Costa Rica.	5
Figura 2. Tallos y macolla de <i>Brachiaria brizantha</i> cultivar Xaraés.....	17
Figura 3. Tallos e inflorescencia de pasto <i>Brachiaria brizantha</i> cultivar Marandú.....	19
Figura 4. Tallos del pasto <i>Ischaemum indicum</i> (Ratana).	22
Figura 5. Sectores de la cuenca del río Peñas Blancas de San Ramón de Alajuela.	24
Figura 6. Hoja cartográfica Fortuna 3247 II. Escala 1:50000. Localización del sitio de la investigación....	25
Figura 7. Imagen de satélite de la ubicación de las fincas de Enrique Zamora (N 10°21'57" W 084°38'50.2") y Luis Jiménez (N 10°22'01.6" W 084°37'55.6").	26
Figura 8. Imagen satelital de la finca de Enrique Zamora, en la parte alta de la subcuenca del río Peñas Blancas.....	27
Figura 9. Imagen satelital de la finca de Luis Jiménez, en parte alta de la subcuenca del río Peñas Blancas.	27
Figura 10. Elaboración de zanja e instalación del geotextil en las fincas seleccionadas para el estudio. .	29
Figura 11. Colocación de estacas para sujeción del geotextil.	30
Figura 12. A) Instalación de postes y cruzado de alambre; B) cordones de piedra con cemento, y C) Geotextil protegido por postes de cemento y alambre.	30
Figura 13. Ganado pastoreando dentro y alrededor de parcelas en finca de Enrique Zamora en San Bosco de la Altura de Peñas Blancas, San Ramón. Junio 2019.	31
Figura 14. A-B) Proceso de recolección de sedimentos, C) pesado, y D) traslado de estos al TEC- San Carlos, para secado.	32
Figura 15. Estaciones meteorológicas cercanas a los sitios de recolección de sedimentos. A) Los Ángeles de la Tigra. B) San Miguel de la Tigra.....	32
Figura 16. Obtención de muestras en área de parcelas para análisis físico del suelo. Junio, 2019.	38
Figura 17. Muestreo en área de parcelas para caracterización de suelos. Junio, 2019.	39
Figura 18. Suelo removido por pisoteo del ganado cerca del geotextil; (A) Pasto Marandú, visita del 4 de mayo y B) pasto Ratana, visita del 23 junio, del 2019.	42
Figura 19. Relación entre la precipitación acumulada y la pérdida de sedimento medida en las parcelas de escorrentía sembradas con los pastos Xaraés, Marandú y Ratana en la parte alta de la cuenca del río Peñas Blancas, San Ramon, Alajuela. Los datos se muestran de manera quincenal, durante el periodo de estudio (9 meses).....	42
Figura 20. Pérdida de sedimento medida en las parcelas de escorrentía sembradas con los pastos Marandú, Xaraés y Ratana, en la cuenca del río Peñas Blancas en San Ramón, Costa Rica, de acuerdo con los grupos definidos por láminas de lluvia acumulada.....	43
Figura 21. Proyección de la pérdida de sedimentos para cada pastura vs. precipitación acumulada, durante el periodo de investigación. Se hicieron pruebas de comparación de coeficientes para las pendientes de cada curva (tipo de pasto).	45
Figura 22. Relación índice Fournier- producción de sedimentos en parcelas de escorrentía sembradas con cada uno de los pastos en la parte alta de la cuenca del río Peñas Blancas, San Ramon, Alajuela. Se hicieron pruebas de comparación de coeficiente para la pendiente.	48
Figura 23. Relación índice Factor R-producción de sedimentos en parcelas de escorrentía sembradas con cada uno de los pastos evaluados en la parte alta de la cuenca del río Peñas Blancas, San Ramon, Alajuela. Se hicieron pruebas de comparación de coeficiente para la pendiente.	50

Lista de anexos

Anexo 1. Imágenes de giras de campo de la investigación.....	72
Anexo 2. Suelos cuenca del río Peñas Blancas, 2007, Costa Rica.....	73
Anexo 3. Resultados análisis microbiológico de muestras de suelos de las parcelas de cada pastura. ...	74
Anexo 4. Resultados análisis físicos de muestras de suelos de las parcelas de cada pastura.....	76
Anexo 5. Resultados análisis Químicos de muestras de suelos de las parcelas de cada pastura.	78
Anexo 6. Segmentos de la matriz elaborada con los datos crudos de precipitación de las estaciones meteorológicas del ICE, durante el 2019.	80
Anexo 7. Tabla de precipitación acumulada según fechas de visitas de campo, en que se recolecto sedimento de cada una de las parcelas establecidas.	82
Anexo 8. Matriz datos precipitación acumulada y sedimento para cada pastura, datos necesarios para la realización y análisis de regresión.	83
Anexo 9. Prueba para diferencias significativas en las pendientes de regresión.	85
Anexo 10. Tabla con los resultados de la regresión para los valores de mm lluvia acumulado-pérdida de sedimentos para cada uno de los pastos.....	86
Anexo 11. Matriz de datos precipitación, pérdida de sedimentos, IFM y Factor R, para cada uno de los pastos.	87
Anexo 12. Prueba para diferencias significativas en las pendientes de regresión de los índices de IFM y R.	89
Anexo 13. Tablas con los valores de la regresión para el índice IFM-pérdida de sedimentos y valores de regresión para el factor R-pérdida de sedimentos, para cada uno de los pastos.	90

Lista de abreviaturas

C: Carbono

Ca: Calcio

CO₂: Dióxido de Carbono

Cu: Cobre

Fe: Hierro

Fig. Figura

g: Gramos

ha: Hectárea

K: Potasio

Kg: Kilogramo

Mg: Magnesio

mg: Miligramo

l: Litro

Mn: Manganeseo

N: Nitrógeno

P: Fosforo

S: Azufre

t: Tonelada

UCR: Universidad de Costa Rica

UFC: Unidades Formadores de Colonias

Zn: Zinc

Capítulo I: Introducción

Uno de los retos para el campo agropecuario es la creación de sistemas productivos resilientes ante la variabilidad climática y que sean eficientes tanto en uso de agua como de energía (Arnés *et al.*, 2013). En este contexto, los suelos resilientes son la base para el desarrollo de agroecosistemas resilientes (Blanco y Francis, 2016), ya que son el soporte de todos los ecosistemas terrestres, constituyen el medio donde se captura y secuestra el carbono, contribuyen a regular la composición química de la atmósfera, filtran el agua, contribuyen a eliminar materiales inorgánicos y orgánicos, además constituyen en el hábitat para una miríada de organismos (Blum *et al.*, 2006). Para propiciar el mantenimiento de estas funciones, la actividad agropecuaria tiene el reto de limitar los procesos de degradación mientras se mantienen e incrementan los rendimientos (Cloter y Cuevas, 2017). Para lograr lo anterior, la Agroecología favorece el uso de tecnologías y prácticas apropiadas que promuevan la presencia de suelos saludables, productivos y resilientes como base de una agricultura sostenible (García, *et al.*, 2014).

La erosión hídrica del suelo es uno de los factores que afectan en gran medida el capital natural de los agroecosistemas, como consecuencia natural de las lluvias y potenciado por malas prácticas agrícolas y desprotección del suelo (Ríos, *et al.*, 2013). Dentro del fenómeno de erosión hídrica, la **agresividad** de la lluvia es una de las características menos conocidas, y para las ciencias agrícolas es de extraordinaria importancia, ya que es el agente activo de la degradación hídrica del suelo, relacionada por ende con la conservación agroambiental de este recurso (Vega y Febles, 2007).

Los sistemas de producción pecuaria han sido especialmente señalados por promover la degradación del suelo. En estos, el manejo del cultivo de pastos es un factor fundamental que propicia o no, la protección del suelo. Por ejemplo, estudios realizados en Costa Rica han evidenciado una estrecha relación entre el uso y conservación del suelo y su manejo (pasturas degradadas, mejoradas, banco forrajero, banco ripario) en sistemas ganaderos (Salas, *et al.*, 2013).

Por otro lado, es muy importante contar con información acerca de la **erosividad** de la lluvia y sus efectos en la pérdida de suelos porque permite evaluar objetivamente y tomar decisiones para la implementación de prácticas de conservación de suelos (Vega-Febles, 2006; Besteiro-Delgado, 2011), actividad crítica en las fincas ganaderas.

En Costa Rica, el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), a través del centro de servicio Ambiente y Cuenca del Centro Generación Toro ha trabajado en la gestión de la cuenca del Río Peñas Blancas con la implementación de ejes de trabajo, promoviendo el establecimiento de sistemas pecuarios semiestabulados, sistemas silvopastoriles y agroforestales en los cuales se practica la conservación de suelos para el fomento de fincas agro conservacionistas (ICE, 2011).

Para el ICE es importante y necesario proporcionar al ganadero de la Cuenca del río Peñas Blancas, opciones de pastos mejorados que soporten el pastoreo de los animales y contribuyan en la reducción de la erosión del suelo. Sin embargo, existe poca información sobre si el tipo de pastura (mejorada, natural) tiene efectos preventivos contra la erosión hídrica del suelo asociada a lluvias intensas.

Con base en lo anterior, esta investigación se realizó con el fin de generar información sobre la interacción de las pasturas mejoradas y la natural, el fenómeno de la precipitación y el pastoreo, sobre la conservación de suelo, que permita la toma de decisiones encaminadas a establecer sistemas pecuarios resilientes.

Objetivos

General

Evaluar la erosión hídrica del suelo sembrado con los pastos *Brachiaria brizantha* c.v. Marandú, *Brachiaria brizantha* c.v. Xaraés e *Ischaemum indicum* (pasto Ratana) sometido a pastoreo, en la parte alta de la cuenca del Río Peñas Blancas, San Ramón, Alajuela.

Específicos

- Cuantificar la producción de sedimentos en parcelas de escorrentía sembradas con los pastos *Brachiaria brizantha* c.v. Marandú, *Brachiaria brizantha* c.v. Xaraés e *Ischaemum indicum* (Ratana) en sistemas de pastoreo.
- Analizar la relación entre las variables de precipitación (intensidad, lámina total y duración) y humedad superficial estimada del suelo con la producción de sedimentos.
- Determinar la relación entre las características (físicas, químicas y biológicas) de los suelos sembrados con cada uno de los pastos establecidos y el fenómeno de la erosión hídrica.

Capítulo II: Marco Teórico

1. Aspectos generales del suelo

La palabra suelo proviene del latín “solum” que significa tierra. Definido como un cuerpo natural, constituido por materia orgánica, agua, aire, minerales y organismos. El suelo es un recurso natural no renovable, que se constituye en el soporte para el desarrollo de los seres vivos (Goñas, 2017). Puede considerarse como: un cuerpo natural que se encuentra sobre la superficie de la corteza terrestre, conteniendo materia viva y siendo la base de soporte de las plantas (Goñas, 2017).

Los suelos tienen muchas propiedades que cambian en el transcurso del año; pueden presentar cambios de temperatura, así como de las condiciones secas y húmedas en forma alternada. Debido a esto, la actividad biológica en el suelo puede disminuir o detenerse en condiciones muy frías o secas. El suelo recibe materia orgánica de diversas formas como, cuando las hojas caen o las hierbas mueren, procesos que influyen en las características físicas, químicas y biológicas, como son el pH, las sales solubles, la relación carbono nitrógeno, el contenido de materia orgánica, el número de microorganismos y la fauna (USDA y NRCS, 2010).

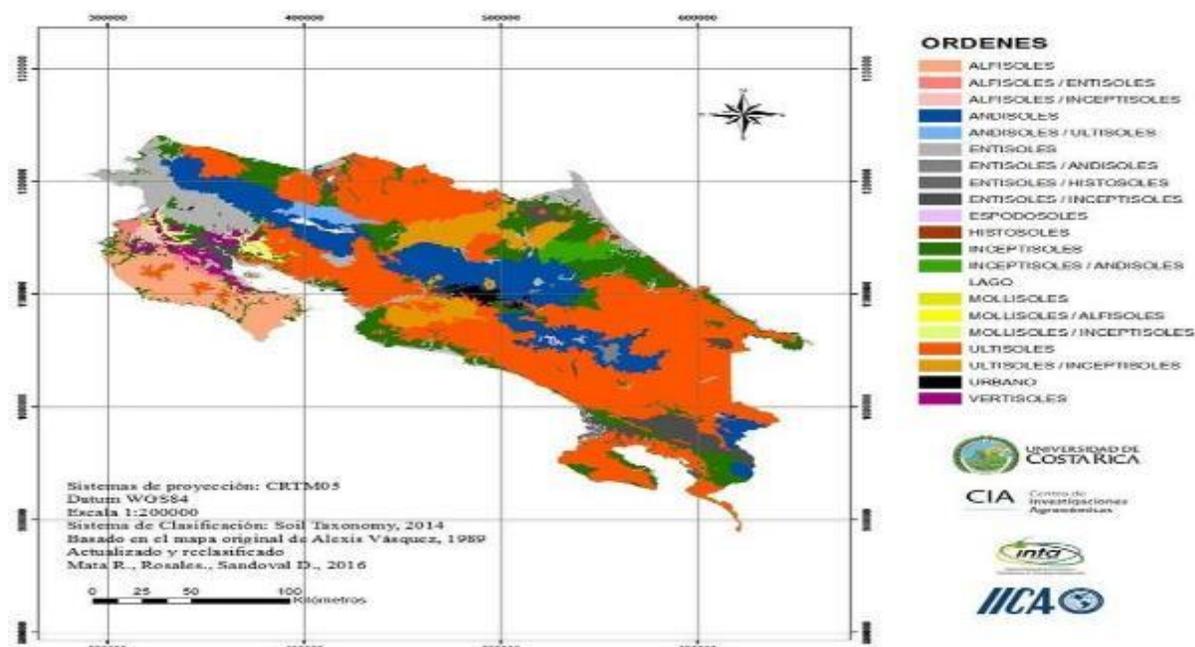
Los aspectos morfológicos de los suelos (color, textura, estructura, consistencia, humedad, porosidad, transición entre horizontes) están directamente relacionados con el movimiento del agua en el mismo. Dentro de los rasgos morfológicos de los suelos, la estructura es una de las características que determina la retención hídrica y el drenaje, ya que influye en la aireación, el ciclo de nutrientes, la penetración de las raíces y en el rendimiento de los cultivos, (Hernández, *et al.*, 2010).

1.1. Características de los suelos en Costa Rica

En Costa Rica predomina en un 56,7% los suelos de orden Ultisol, seguidos de los Andisoles con 16,7% y en tercer lugar los Inceptisoles con un 13,1% del área total nacional (Figura 1). Los Ultisoles son suelos con un horizonte B arcilloso y baja fertilidad, asociada en ocasiones al aluminio intercambiable y problemas de acidez presentes. Este orden de suelos se caracteriza por buenas condiciones físicas y bajo

contenido de bases. Son suelos de color rojo (oxidación de Fe) con alta acidez (acumulación de Al) y arcillas 1:1 caolinita y fijación de P como P-Al y P-Fe. Presentes en zonas del país como Buenos Aires, Talamanca, Sarapiquí, San Carlos, Los Chiles y Pérez Zeledón. Presentan condiciones para cultivos como caña de azúcar, café, piña, cítricos, raíces, tubérculos y pastos, (Mata, 2012).

Figura 1. Ordenes de suelos presentes en Costa Rica.



Fuente: CIA, 2016.

Los suelos del orden Andisol (Figura 1), son originados a partir de cenizas y otros materiales volcánicos. Este orden de suelo generalmente está en áreas de influencia volcánica. Son suelos de color oscuro, profundos, friables, porosos, con alto contenido de materia orgánica, buenas características físicas y texturas franco arenosas a franco. Se caracterizan por la presencia de arcilla alófana, baja densidad aparente, susceptibles a compactación y a la erosión. Los suelos Inceptisoles, presentan un desarrollo incipiente, con horizonte B. Se presentan distribuidos en todo el mundo. Son característicos de zonas ligeramente onduladas y planas, sin predominancia de ningún material. De alto potencial agrícola. Son suelos jóvenes con poco desarrollo y texturas franco arenosas a franco arcillosas (Mata, 2012).

1.2 Importancia de la conservación de los suelos

El suelo es un recurso finito, lo que implica que su pérdida y o degradación, no es reversible en el tiempo de una vida humana. La superficie de suelos productivos es limitada y se encuentra bajo presión debido a la intensificación en actividades agrícolas, forestales y pastorales. Por tal razón, Los suelos deben ser reconocidos y valorados por sus capacidades productivas y por su contribución a la seguridad alimentaria y al mantenimiento de servicios ecosistémicos (FAO, 2015).

Las actividades humanas deben aprovechar el recurso suelo promoviendo su protección y regeneración, ya que el suelo tiene funciones críticas a nivel ecosistémico; por ejemplo, retención de carbono, suministro de alimentos, fibras y combustibles, regulación del clima, medio para la herencia cultural, contribución al ciclo de nutrientes, hábitat para organismos, purificación del agua y reducción de contaminantes del suelo, suministro de materiales de construcción, recursos genéticos, fuente de productos farmacéuticos, base para infraestructuras humanas y regulación de inundaciones (FAO, 2015).

Se estima que para el 2015, cerca de un 33 por ciento de la tierra está moderada o altamente afectada por procesos de erosión, compactación, la salinización, la acidificación y la contaminación por productos químicos (FAO, 2015).

1.3 El enfoque agroecológico en la protección de los suelos

Dentro de los fundamentos de la agricultura ecológica, se reconoce el suelo como la base de una adecuada gestión agraria por lo que su manejo debe considerar la protección y mejora de su estructura (Chocano, *et al.*, 2017). Por ello, preservar la agrodiversidad, mantener las condiciones físicas, químicas, biológicas e hidrológicas, propias del suelo—para el crecimiento de las raíces, la retención y el uso eficiente del agua y nutrientes, así como el control biológico de plagas y enfermedades” (Pulleman, *et al.*, 2008), son condiciones importantes para garantizar la sostenibilidad de los sistemas agrícolas” (Funes, *et al.*, 2008).

2. Degradación del suelo asociada a fenómenos de erosión

La erosión del suelo comprende la separación de las partículas individuales del suelo y su transporte por medio del agua de escorrentía y el viento, para que posteriormente se dé la deposición del material. En ausencia de cobertura o de suelo desnudo, la salpicadura es el agente de desprendimiento más importante, como resultado de la caída de las gotas de lluvia. El suelo también se ve afectado por la meteorización, tanto mecánica, por humedecimiento y secado alternos, congelación y descongelación. Además, las labores de labranza, así como el pisoteo de las personas y el ganado, contribuyen al proceso erosivo (Morgan, 2005).

Sancho y Villatoro (2006), refieren que los efectos negativos de la erosión son más notorios en suelos con pendiente, por lo que consideran que este fenómeno es una de las limitantes para la sostenibilidad de los sistemas agrícolas en tierras de alta pendiente, como sucede en el contexto de Costa Rica, cuya topografía es muy irregular en la mayor parte del territorio nacional.

Los principales efectos de la erosión en una finca son la degradación de las propiedades químicas, biológicas e hidrofísicas, en detrimento de la producción de los cultivos. Por otra parte, están la sedimentación en ríos y embalses, el deterioro de la calidad del agua y los cambios en los patrones hidrológicos (Geissert, *et al.*, 2017).

De acuerdo con Gómez (2010), la erosión puede ser causada por el agua o por viento, donde la primera se denomina erosión hídrica y la segunda erosión eólica. De acuerdo con Morgan (2005) la erosión se ve favorecida por la gravedad y la pendiente. Algunos autores también mencionan la erosión por labranza causada por el uso de aperos como arados y rastras (Mehuys, *et al.*, 2009; Tiessen, *et al.*, 2010), la cual es crítica cuando los terrenos presentan pendientes pronunciadas.

3. Erosión hídrica

La erosión hídrica puede clasificarse en:

- a) **Erosión por escorrentía:** Se da cuando el agua de lluvia no se filtra en el suelo, debido a que la intensidad del aguacero supera la velocidad de infiltración, o a causa de que el suelo se encuentra saturado, por lo que el agua corre por la superficie del terreno arrastrando consigo partículas del suelo desprendido (Goñas, 2017).
- b) **Erosión por salpicadura:** Contribuye de manera importante al 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. 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 (Masis, 2018).
- c) **Erosión en terracetos:** 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 terracetos (Masis, 2018).
- d) **Erosión por remoción en masa:** Ocurre cuando en los suelos con altas pendientes se da un exceso de infiltración y por acción de la gravedad se producen remociones de suelo como derrumbes y deslizamientos (Molina, 2014).

3.1 Efectos de la erosión hídrica

La erosión hídrica tiene innumerables efectos en los terrenos sembrados con pastos destinados a la producción pecuaria, entre los que destacan (Rivera y Sang, 2013):

- a) **Pérdida de elementos nutrientes:** Se da, al ser lixiviados por la infiltración en el suelo o por erosión a través de la escorrentía, o de forma indirecta, por erosión de los materiales que los contienen o que podrían fijarlos.
- b) **La pérdida de recursos hídricos:** La presencia de vegetación y de las primeras capas del suelo son imprescindibles para que el agua de las precipitaciones se infiltre. Un aumento de la erosión significa, una disminución en la recarga de los acuíferos. Por otro lado, la modificación que esto supone puede generar graves alteraciones para los ciclos hidrológico y climático.
- c) **El aumento del riesgo de inundaciones catastróficas:** La erosión propicia que, durante las lluvias torrenciales, sea mayor la escorrentía superficial y que las avenidas de agua sean mayores, generando inundaciones cada vez más severas.
- d) **La colmatación:** La erosión genera un aumento de la carga sólida que arrastran los ríos, provocando una serie de problemas como la colmatación de los lagos y lagunas. Es decir, los materiales arrastrados se depositan en estos humedales, alterando los ecosistemas de dichas áreas, porque reciben más aportes de sólidos y nutrientes de los requeridos para mantener su equilibrio natural.

4. Características del suelo asociadas a procesos erosivos

Los suelos poseen características que los hacen más o menos susceptibles a procesos erosivos, entre estas se encuentran:

a) *Textura*

La textura es una propiedad que comprende la relación en que se encuentran las partículas que se agrupan en tres clases, por tamaño: arcilla (<0,002 mm), limo (0,05 a 0,002 mm) y arena (2 a 0,05

mm). La textura define las características hidrodinámicas de los suelos e influye fuertemente en la capacidad de retención de agua, la predisposición a la erosión, la velocidad de infiltración y la formación de grietas y costras (Mamani, 2019). La textura afecta la ruptura de los agregados y por ende en la fragmentación del suelo (Truman, *et al.*, 1990; Paz y Guerif, 2000).

b) Estructura

Es la forma como se reúne las partículas del suelo en forma de agregados naturales o peds. Está asociada con el espacio poroso y el movimiento de agua dentro del suelo. Estas partículas logran reunirse en un ped, por medio de fuerzas intrapedales y agentes cementantes como son los óxidos de hierro, de aluminio y compuestos de calcio y humos (Arias, 2001). Entre los factores que determinan la estructura del suelo están: a) el porcentaje del material o matriz que une las partículas del suelo (carbonatos, arcilla, materia orgánica), b) la actividad biológica del suelo, c) la textura; y d) la influencia humana (González, 2017). La estructura influye en la porosidad, la aireación y circulación de aire dentro del suelo, el régimen de drenaje, permeabilidad y percolación, erosión superficial, retención de agua, retención de nutrimentos y densidad aparente (Garbanzo, 2018).

c) Materia orgánica

La materia orgánica (MO) de los suelos comprende una serie de sustancias como son; la biomasa microbiana, restos vegetales y/o animales y mezclas amorfas coloidales de sustancias orgánicas complejas de alto peso molecular (ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y huminas). La MO, se considera uno de los indicadores de calidad de suelo debido a su efecto benéfico sobre las propiedades físicas y el abastecimiento de nutrientes. También se reconoce su efecto sobre la sustentabilidad del sistema productivo en el largo plazo (Picone, 2006; Varvel, *et al.*, 1994). La MO aumenta la capacidad del suelo para retener agua, además de mejorar la capacidad de intercambio catiónico, favorece el desarrollo radicular, disminuye la densidad aparente, y estimula la actividad de los macro y microorganismos (Meléndez y Soto, 2003). Puede comportarse como un agente cementante aumentando la cohesión

de los agregados puede aumentar la hidrofobia, disminuyendo la humectabilidad de los agregados y reduciendo el estallido cuando los agregados secos se sumergen en agua (Tisdall y Oades, 1982; D'Acqui, *et al.*, 1999).

d) Capacidad de infiltración

La infiltración es el proceso de penetración del agua en el suelo. Es inverso al proceso de escorrentía del agua de lluvia, la velocidad de esta depende del tipo de suelo, la estructura o grado de agregación y del contenido de agua en el mismo. La infiltración de agua depende de muchos factores, tales como espesor del suelo, humedad del suelo, cubierta vegetal, tipo vegetal y pendiente, por lo que su estimación confiable es difícil y requiere de una comparación entre varios parámetros (Avilés, 2016). El proceso de infiltración de agua en el suelo ha sido intensamente estudiado debido a su importancia en el manejo del agua en la agricultura, la conservación del recurso suelo, la recarga de los acuíferos y otras actividades técnicas. La velocidad de infiltración determina la cantidad de agua de escurrimiento superficial y con ello el peligro de erosión hídrica (Alvarado y Barahona, 2016).

e) Microbiología del suelo

Los microorganismos como, hongos, algas, protozoos y actinomicetos, primordialmente juegan roles vitales en varios ciclos geoquímicos y están implicados en diversos procesos importantes para la calidad del suelo. Por ejemplo, regulan la descomposición de la materia orgánica, la disponibilidad de nutrientes y contribuyen a la formación y el mantenimiento de la estructura edáfica (Kirk, *et al.*, 2004; Johnson, *et al.*, 2003). El porcentaje más alto de microorganismos se localiza en suelos con altos contenidos de materia orgánica. La cual se ve afectada seriamente por el fenómeno de la erosión del suelo, principalmente por el arrastre de sedimentos. Disminuyendo el contenido de carbono orgánico presente en el suelo, la capacidad de almacenamiento de agua, la agregación de partículas y con ello la diversidad y poblaciones de microorganismos (Nizeyimana y Olson, 1988; Cihacek y Swan, 1994; Malhi, *et al.*, 1994; Rhoton y Lindbo, 1997).

5. Erosividad de la lluvia

La erosividad de la lluvia, también conocida como agresividad climática, es uno de los factores detonantes de la erosión de los suelos. Es la forma más generalizada y seria de degradación. Las características de la lluvia más importantes que se tienen en cuenta en la evaluación de la erosividad son la intensidad y la distribución. La primera está determinado por la energía cinética que alcanza la gota de lluvia en la caída; dicho fenómeno fue demostrado por Wischmeier e incluido en el índice de erosividad I_{30} que se relaciona con el factor de erosividad de la lluvia (R), el cual hace referencia a la máxima intensidad que presenta un evento lluvioso en un periodo de 30 min y su energía cinética (Lince y Castro, 2015).

Los índices más utilizados en investigaciones para medir la erosividad de la lluvia y su distribución son el factor R propuesto por Wischmeier y Smith (1978), implementado en los Estados Unidos, el índice de Fournier (IF) propuesto por Fournier (1960), desarrollado para la costa oeste de África, el índice modificado de Fournier (IMF), planteado por Arnoldus (1977) y entre las correlaciones destacadas se tienen la de Renard y Freimund (1994), que sugieren el uso del IFM y el factor R para regiones con datos deficientes. Otro índice importante es el de concentración de las precipitaciones (ICP) desarrollado por De Luis, et al. (1997) y Oliver (1980), que tiene como finalidad cuantificar la heterogeneidad de la precipitación en términos de series de lluvias mensuales (Lince y Castro, 2015).

- a) **Factor de erosividad de la lluvia (R):** El término factor de erosividad de la lluvia implica una evaluación numérica de un evento de lluvia que describe su capacidad de erosionar suelo en un campo desprotegido. Las diferencias en la erosión potencial de la lluvia no están asociadas necesariamente a la cantidad de lluvia, las intensidades presentes en los eventos, los antecedentes climáticos y las condiciones de la superficie. La interacción de los efectos y otras variables influyen de manera más relevante dentro del proceso de erosión. Wischmeier y Smith (1978), observaron que entre los factores de precipitación pluvial que se estudiaron, la energía

cinética en combinación con la máxima intensidad de los 30 minutos explicaba la mayor parte de la pérdida de suelo en las parcelas de campo (Pérez y Mesa, 2004).

- b) Índice de Fournier Modificado (IFM):** Se fundamenta en el hecho que no sólo el mes de mayor precipitación produce erosión superficial, sino que hay meses con menores cantidades de precipitación que también producen erosión. El IMF está dado por la relación entre la suma del cuadrado de las precipitaciones mensuales para un año, respecto de la precipitación media anual (Echeverri y Obando, 2010).

6. Técnicas y materiales para medir erosión

Existen varias metodologías para medir la erosión hídrica. A continuación, se indican las más importantes (Brea y Balocchi, 2010):

a) Parcelas de escorrentía o erosión

Se utilizan como áreas permanentes de monitoreo. Cada parcela está físicamente aislada del resto de la tierra, con dimensiones de ancho y largo predeterminadas, así como la pendiente, el tipo de suelo y la vegetación. En cada parcela se mide la escorrentía y suelo perdido, además de la precipitación en el área de estudio. El número de parcelas es por lo general de dos o más réplicas por tratamiento. Las parcelas de escorrentía o erosión son una de las metodologías más conocidas para la evaluación directa de la erosión del suelo. Este método de investigación permite controlar muchas de las condiciones en que ocurren los procesos erosivos, como el sellamiento derivado del impacto de las gotas de lluvia.

La principal aplicación de su uso es para comparar tratamientos, pero nunca para extrapolar a nivel de cuenca o dimensiones mucho mayores que la propia parcela. En estas parcelas se usan usualmente colectores tipo Gerlach. Estos colectores ayudan a encausar la escorrentía a un punto central (o lateral) en la parte baja de la parcela. A la salida de la escorrentía por ese punto, esta es medida automáticamente o es almacenada para luego ser medida y muestreada para determinar sedimentos.

b) Clavos de erosión

Es una de las formas simples de medir cambios de nivel en la superficie del suelo. Se utilizan clavos de 20-30 cm de largo, con una golilla soldada en la cabeza. La metodología consiste en la instalación de estos clavos en forma perpendicular a la superficie del suelo, quedando esta al mismo nivel que la golilla. Una vez transcurrido el periodo de prueba, se mide la distancia entre la golilla y la nueva superficie del suelo, la cual representa la pérdida neta (representando erosión laminar) producida en un tiempo dado de lluvias.

c) Malla geotextil

Este es un material sintético usado como barrera temporal diseñada para retener sedimentos en el sitio de construcción y taludes de carreteras. La malla consiste en un geotextil apoyado en postes como trincheras en la tierra, la cerca retiene sedimentos principalmente retardando flujo y promoción de depósito en el lado ascendente de la valla. La escorrentía también es filtrada a su paso por el geotextil, que está diseñado para interceptar y detener pequeñas cantidades de sedimentos (agregados de suelo), procedentes de zonas perturbadas. También pueden prevenir la erosión laminar al disminuir la velocidad de la escorrentía (Metropolitan Council y Barr Engineering, 2002). El material de este geotextil varía (sintético o natural como fibras) y existen diferencias en apertura promedio de poros, donde entre más cerrado, menos flujo a través de este y limita el volumen de escorrentía que puede controlar.

La metodología con el geotextil (Silt Fence en inglés) es una modificación a las parcelas de escorrentía, donde la estructura de recolección es un compartimento hecho a base de este material a diferencia de las parcelas que solían tener un estañón o cubetas de plástico para recolectar el sedimento junto con la escorrentía. Este sedimento podría representar casi todo el material perdido en la parcela (Molina, 2014). Sin embargo, con el geotextil generalmente se desconoce el volumen total de escorrentía que pasó a través de este.

7. Procesos de erosión en pastos destinados a la producción pecuaria

Existen varias investigaciones realizadas en Centroamérica con el objetivo de estudiar el proceso de erosión hídrica en áreas de pastos destinados a la alimentación animal, en el contexto de la topografía de la región, la cual se caracteriza por áreas de pendientes pronunciadas. Por ejemplo, se han observado diferencias en la erosión hídrica de zonas con diferentes actividades. En Costa Rica, específicamente en la zona del Pacífico central, se observaron diferencias en la producción de sedimentos en zonas de pastos, zonas agrícolas y zonas de matorrales, siendo el primer caso la zona con mayor susceptibilidad a la erosión por escorrentía (Ríos, *et al.*, 2013). La susceptibilidad de las zonas de pastos a la erosión hídrica se vio incrementada por la pendiente, como lo evidenció Masis (2018), quien realizó una investigación para estimar la erosión hídrica generada por la actividad ganadera en áreas sembradas con pasto Estrella (*Cynodon nlemfuensis*) y Brizantha (*Bracharia brizantha*) en la microcuenca del río Santa Rosa, en Guanacaste. El autor no observó diferencias en la erosión de suelo sembrado con ambos pastos en áreas con pendiente inferior al 45%; sin embargo, observó diferencias en la erosión producida cuando la pendiente fue de entre 45%-60%, en cuyo caso la erosión fue de 123 kg/ha.

Por otro lado, Ríos, *et al.* (2006) realizaron una investigación sobre escorrentía superficial e infiltración en sistemas ganaderos convencionales y silvopastoriles en el trópico subhúmedo de Nicaragua y Costa Rica. Los investigadores encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, siendo las pasturas naturales las que presentaban mayor escorrentía superficial; de dos a tres veces mayor que la de la pastura mejorada con árboles, de cuatro a cinco veces más alta que la de un tacotal y de siete a once veces más que la de un banco forrajero. Respecto a infiltración, el tacotal fue el que mostró mayor capacidad de infiltración de agua en comparación con los demás sistemas, mientras que las pasturas arboladas tuvieron mayor infiltración que las pasturas naturales sobre pastoreadas. Los árboles dispersos en pasturas nativas o mejoradas disminuyeron la escorrentía superficial e incrementaron la infiltración, favoreciendo la conservación de agua en las fincas ganaderas.

8. Pastos utilizados en los sistemas pecuarios costarricenses

En los sistemas pecuarios de nacionales se siembra una gran variedad de pastos; tanto variedades mejoradas como pastos rústicos o nativos. Esto se describen a continuación.

8.1 Pastos mejorados

Se definen como “especies forrajeras -mayormente gramíneas y leguminosas-, que no son nativas pero que están bien adaptadas a las condiciones agroecológicas prevalentes en una finca y que cuando se manejan adecuadamente muestran una alta producción de biomasa forrajera de una buena calidad nutritiva, y que persisten, contribuyendo a lograr una productividad animal alta, y a su vez a conservar el ambiente” (Pezo, 2018).

En Costa Rica existe una diversidad de pastos mejorados como el *Brachiaria brizantha* (variedades Diamantes y Xaraés), *Brachiaria decumbens* y las guineas como el *Panicum maximum* (variedades Tanzania y Mombaza). Estos pastos ofrecen mayor producción de forraje, mejor contenido nutricional, adaptabilidad, resistencia a plagas y capacidad para enfrentar la competencia con otra vegetación (MAG, 2010). □

La accesión *Brachiaria brizantha* fue recolectada en 1985 por G. Keller-Grein, investigador del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) en Colombia, con la colaboración de técnicos del Instituto de Ciencias Agronómicas de Burundi (ISABU) en África. En Costa Rica fue introducida en 1988 para su evaluación junto con otras especies de *Brachiaria* en la estación experimental los Diamantes, Guápiles, dentro del Convenio de Cooperación entre el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), la Escuela Centroamericana de Ganadería (ECAG) y el anterior Programa de Forrajes Tropicales de CIAT (Argel, *et al.*, 2000).

8.1.1 *Brachiaria brizantha* cv Xaraés

A) *Morfología*

El cultivar Xaraés es una gramínea de metabolismo C4, planta perenne, robusta, de 1 a 2 m de altura, con crecimiento semierecto en forma de macolla, produce tallos vigorosos los cuales pueden enraizar si se encuentran en contacto estrecho con el suelo (Figura 2). El método más usual de propagación es por medio de semilla gámica, el cual, además, es el más barato, pero también se puede realizar por medios vegetativos utilizando tallos enraizados de las cepas que ya han macollado (Rodríguez, 2011).

La hoja se caracteriza por un ancho de 2 a 2,2 cm, un largo de 62 cm y un largo de los entrenudos de 20 cm. La inflorescencia tiene un largo de 36 cm, con tres racimos, cuya longitud está entre los 19 a 23 cm y un largo de vaina de 17,5 cm. El raquis presenta muchos pelos en sus márgenes y espiguillas hermafroditas y estériles, de 5 mm de largo, con ápice color oscuro y pelos. Este pasto tiene una germinación del 71% (Villalobos y Montiel, 2015).

Figura 2. Tallos y macolla de *Brachiaria brizantha* cultivar Xaraés.



Fuente: Argel, *et al.*, 2000.

B) Adaptación

Tiene amplio rango de adaptación a climas y suelos. Crece bien en condiciones de trópico subhúmedo con períodos secos entre 5 y 6 meses y promedios de lluvia anual de 1600 mm, y en localidades de trópico muy húmedo con precipitaciones anuales superiores a 3500 mm. Tolera suelos arenosos y persiste en suelos mal drenados. Crece bien durante la época seca manteniendo una mayor proporción de hojas verdes que otros cultivares de la misma especie, lo cual parece estar asociado con un alto contenido de carbohidratos no estructurales. En Costa Rica, este cultivar crece bien bajo sombra y en localidades situadas desde el nivel del mar hasta 1500 m.s.n.m., con una temperatura promedio de 18 grados. En suelos Inceptisoles tiene una producción de biomasa anual cercana a las 32 t/ha de masa seca (MS), pero estos rendimientos son más bajos en un suelo de menor fertilidad tipo Ultisol (Argel, *et al.*, 2000).

C) Tolerancia a plagas y enfermedades

En Costa Rica, donde predominan artrópodos de los géneros *Prosapia* y *Aenolamia*, se ha observado que el grado de infestación con ninfas es nulo o muy bajo en condiciones de campo y no se han reportado pérdidas importantes de rendimiento por ataques. Se ha observado que esta gramínea tolera ataques de *Rhizoctonia* sp. y otros hongos del suelo como *Pythium* sp. y *Fusarium* sp., comunes en zonas húmedas (Argel, *et al.*, 2000).

D) Valor nutricional y producción animal

Muestra valores de proteína cruda de 13,5, 10,1 y 8,7% en las hojas a edades de rebrote de 25, 35 y 45 días respectivamente. La digestibilidad *in vitro* de la MS para las mismas edades fue respectivamente de 67,3, 64,2 y 60,3%. Las observaciones en fincas de Costa Rica y la información suministrada por productores muestran que soporta una carga animal variable de entre 2,5 y 3,0 UA/ha durante el período lluvioso, con una frecuencia de pastoreo de entre 21 y 30 días (Argel, *et al.*, 2000).

8.1.2 *Brachiaria brizantha* cv. Marandú

A) Morfología

El cultivar Marandú es una gramínea de metabolismo C4, planta perenne, siempre robustas y con intenso ahijamiento en los tallos superiores floríferos, presencia de pelos en la porción apical de los entrenudos, vainas pilosas, láminas foliares largas y anchas (Figura 3). Los tallos alcanzan una altura de 1,5 m son de color verde amarillo, tiene raíces profundas. De hojas erectas, largas y altamente palatables (Guere, 2010).

La hoja se caracteriza por un ancho de 1,6 a 2 cm. Con un largo de 40 a 59 cm y largo de entrenudos de 16 cm. La inflorescencia presenta un largo de 55 cm con 3 a 5 racimos. Estos presentan un largo de entre 13 y 16 cm y un largo de vaina de 35 cm. El raquis es muy velludo en ambos márgenes y espiguillas hermafroditas y algunas estériles, de 7 mm de largo, con pocos pelos en el ápice. Esta pastura presenta una germinación del 63% (Villalobos y Montiel, 2015).

Figura 3. Tallos e inflorescencia de pasto *Brachiaria brizantha* cultivar Marandú.



Fuente: Peters, 2002.

B) Adaptación

Se adapta a suelos bien drenados de mediana a alta fertilidad, pH de 4,0 a 7,0, texturas arenosas a pesadas, resistente a saturación de aluminio. Altura de siembra de 0 – 1.800 m.s.n.m. Temperaturas de 17–27°C y no tolera sombra. Crece bien en condiciones de precipitación anual de 1.000 – 3.500 mm (milímetros) y tolera sequía medianamente (Martínez, 2019). Crece muy bien en suelos de mediana fertilidad. No aguanta encharcamientos mayores a 30 días, tiene buena resistencia al pastoreo y compite con las malezas. Se asocia bien con leguminosas como maní forrajero. Es resistente a la sequía y a las quemas, es resistente al pisoteo y además tiene bajos requerimientos internos y externos de Ca y P (Guere, 2010).

C) Tolerancia a plagas y enfermedades

Una de las principales plagas de las gramíneas forrajeras, el salivazo (*Aeneolamia* sp. y *Zulia* sp.), periódicamente causa severos daños a *Brachiaria* sp. Las ninfas se localizan y alimentan en la base de la planta y los adultos se alimentan de la savia de las hojas y de los tallos e inyectan sustancias tóxicas causando amarillamiento y secamiento del follaje (Guere, 2010). Según Martínez (2019), el Marandú presenta alta tolerancia a salivazo, aunque es susceptible a pudrición de la raíz en sitios húmedos y es altamente susceptible al hongo *Rhizoctonia solani*.

D) Valor nutricional y producción animal

Presenta una alta palatabilidad con un contenido de proteína cruda de entre 9 y 12% según la edad que tenga el rebrote, contenido de nitrógeno y la fertilidad del terreno. Presenta una digestibilidad superior al 60%, la cual también dependerá principalmente de la edad del rebrote (Martínez, 2019). Según Guiot y Meléndez (2003), el valor nutritivo es considerado entre moderado y bueno, con dos a seis semanas de rebrote presenta en promedio: digestibilidad de la MS de entre 65 y 72%; proteína bruta de entre 7 y 15%; fósforo de 0,15 a 0,17% y calcio de entre 0,14 y 0,22%.

8.2 Pastos naturales

El término pasturas naturales es difícil de definir, pero en general se consideran como aquellas forrajeras no nativas establecidas sin la intervención del ser humano y que subsisten por muchos años (Zabalza y Cano, 1989; FAO, 2003). Tienen en general baja calidad nutricional, lo que condiciona la producción animal y el sistema de manejo (Olea et al., 2011).

8.2.1 *Ischaemum indicum* (Ratana)

A) Origen

El pasto Ratana es originario de Asia tropical. En Costa Rica se tiene referencia de esta especie desde 1966, época en que existía en una pequeña parcela en CATIE, Turrialba. En 1968 fue también identificado en Golfito. En la Estación Experimental Los Diamantes, en Guápiles (del Ministerio de Agricultura y Ganadería) fue conocida como “Pasto Diamantes”; sin embargo, curiosamente fue reportado como una especie de poco vigor (Villareal, 2010).

Durante la década de los setenta y principios de los ochenta, esta especie experimentó una introducción y adopción masiva en las áreas tropicales húmedas del país (Región Huetar Norte y Región Huetar Atlántica). Inicialmente, se introdujo por los ganaderos, a través de la frontera con Panamá, y posteriormente ocurrió una dispersión natural, desencadenando el proceso de invasión de otras pasturas ya existentes (Villareal, 2010).

B) Morfología

Es una gramínea de metabolismo C4, perenne, de tallos erectos o tendidos, altura de hasta 30 cm. Forma colchón en meses de mayor precipitación con material maduro y poco palatable (Figura 4). Presenta un sistema radicular adventicio muy superficial que no le permite extraer nutrientes ni humedad de las capas inferiores del suelo (Peters, et al., 2002).

Figura 4. Tallos del pasto *Ischaemum indicum* (Ratana).



Fuente: Jiménez, 2020.

C) Adaptación

Según Villalobos (2010), el pasto Ratana se adapta fácilmente gracias a la producción de mucha semilla viable, posee estolones de muchos nudos con raíces adventicias que le permiten cubrir y por lo tanto competir por luz con otras especies de porte bajo. Además, se adapta bien a suelos con alta humedad, con problemas de toxicidad de aluminio o manganeso y con bajos niveles de fósforo. Otro de los aspectos que influyen en su éxito es su alelopatía.

D) Tolerancia a plagas y enfermedades

El ataque de plagas como “salivazo” (*Aenolamia* sp.) puede reducir drásticamente la tasa de crecimiento del pasto Ratana, aún en época lluviosa (Villareal, 2010).

E) Valor nutricional y producción animal

Desde el punto de vista de composición química y valor nutritivo, las investigaciones han señalado ligeras diferencias entre el pasto Ratana y el promedio de otros pastos. Así, mientras el contenido mineral de Ratana (Ca, Mg, Fe, Zn, y Mn) ha sido relativamente superior a otras especies, los niveles de proteína cruda, digestibilidad *in vitro* de la MS y energía digestible tienden a ser inferiores. Una de las mayores limitantes del pasto Ratana es su disponibilidad de forraje, principalmente durante la época seca. Bajo ciertas circunstancias, el pasto Ratana podría significar una alternativa para ganaderías principalmente

extensivas, posibilitando con ello la producción ganadera con bajos insumos, aunque con niveles de producción bajos (Villareal, 2010).

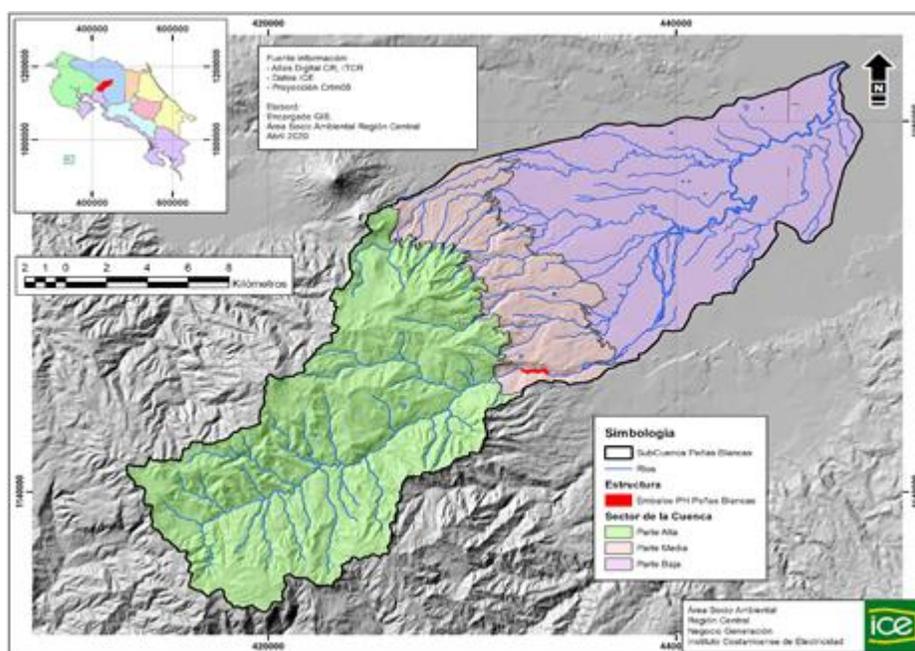
Villalobos (2010) menciona un estudio realizado por Villarreal (1994), donde se evaluó el valor nutritivo del pasto Ratana en San Carlos, Alajuela a diferentes edades de rebrote (3, 6, 9 y 12 semanas). Se encontró que el Ratana presentó el menor valor de digestibilidad *in vitro* de materia seca (DIVMS) de entre 40,0 y 50,9%, comparada con otras gramíneas (tres variedades de *Panicum maximum* y cuatro especies de *Brachiaria*). Respecto al contenido de proteína cruda (PC), presentó valores de entre 5,7 y 9,7 % de PC en la época de máxima precipitación y entre 5,7 y 7,5 % de PC en la época de mínima precipitación. Respecto a la fibra detergente neutro (FDN), Ratana tuvo valores de 67,9% y 69,7%, en épocas de mínima y máxima precipitación en zonas de baja producción lechera. Estos resultados son intermedios respecto a otros pastos de la zona como Estrella africana y Ruzi (*Brachiaria ruzi*) con valores promedio de 72,2% y 65,5% respectivamente.

Capítulo III: Materiales y métodos

1. Área del estudio

El estudio se efectuó en la parte alta de la subcuenca Peñas Blancas (Figura 5), que se localiza entre las coordenadas geográficas 10°15`-10°32` latitud Norte y 84°28' - 84°48' longitud Oeste. Esta área se encuentra en las hojas cartográficas escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional de: Aguas Zarcas 3347 III, Fortuna 3247 II, Juntas 3246 IV, Monterrey 3242 I, San Lorenzo 3246 I, Tillarán 3247 III y Tres Amigos 3347 IV (Gonzales, *et al.*, 2008).

Figura 5. Sectores de la cuenca del río Peñas Blancas de San Ramón de Alajuela.



Fuente: Gonzales, *et al.*, 2008.

Los órdenes de suelos (Anexo 1) que tienen mayor predominancia en la cuenca del río Peñas Blancas son los Inceptisoles y los Ultisoles, y con un menor porcentaje aparece el orden de los Andisoles, los Entisoles y algunos sedimentos ribereños. Los Inceptisoles predominan con un 75% (30 084 ha) (Gonzales, *et al.*, 2008).

Esta región pertenece al régimen de precipitación del Caribe, al cual se le identifica como lluvioso todo el año (no presenta estación seca definida), con una disminución de las lluvias en los meses de febrero, marzo y octubre (Solano y Villalobos, 2000). Es la tercera región más lluviosa del país con más de 3200 mm anuales en promedio, superada por el Pacífico Sur y el Caribe Norte. Se presenta un solo periodo lluvioso que se inicia en mayo y finaliza en diciembre o enero (Instituto Meteorológico Nacional, 2008).

La investigación de campo se realizó entre los meses de abril y diciembre del 2019, en dos fincas pertenecientes a los señores Enrique Zamora y Luis Jiménez. Las mismas se ubican en la hoja cartográfica Fortuna 3247 II, con escala 1:50,000 (Instituto de Geografía Nacional, 1984), entre las coordenadas N 10° 22' 01.23'' y W 84° 38' 21.10'' (Figuras 6 y 7).

Figura 6. Hoja cartográfica Fortuna 3247 II. Escala 1:50000. Localización del sitio de la investigación.

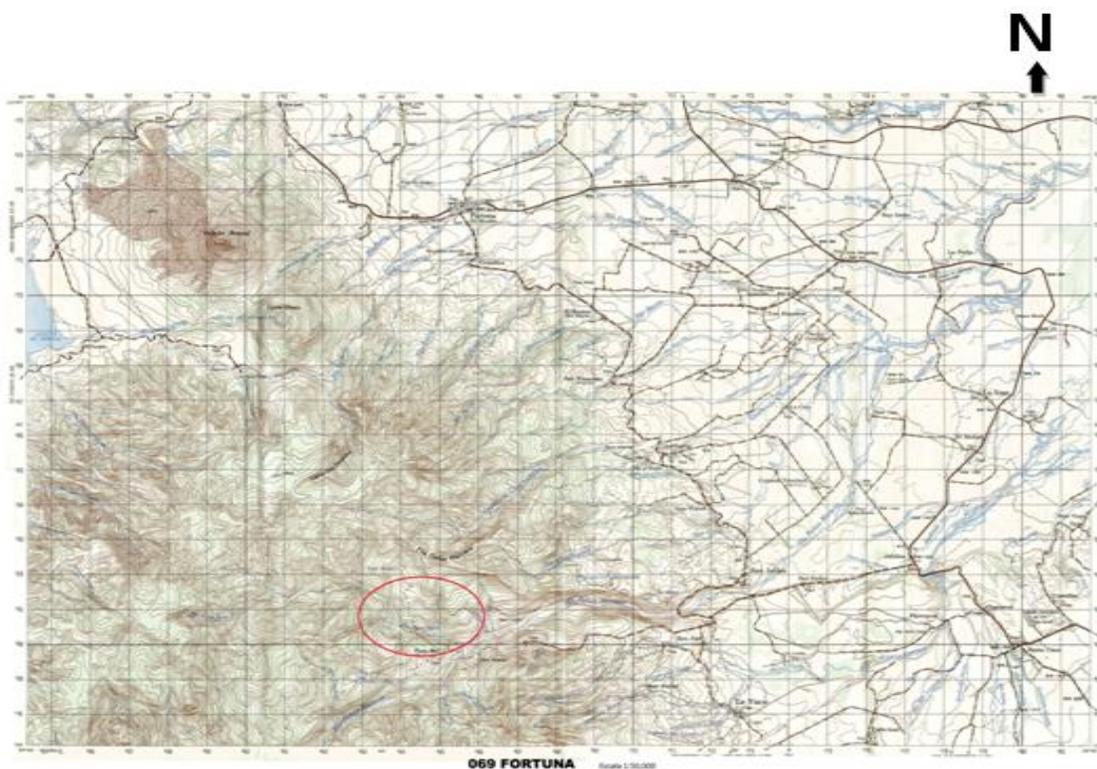


Figura 7. Imagen de satélite de la ubicación de las fincas de Enrique Zamora (N 10°21'57'' W 084°38'50.2'') y Luis Jiménez (N 10°22'01.6'' W 084°37'55.6'').



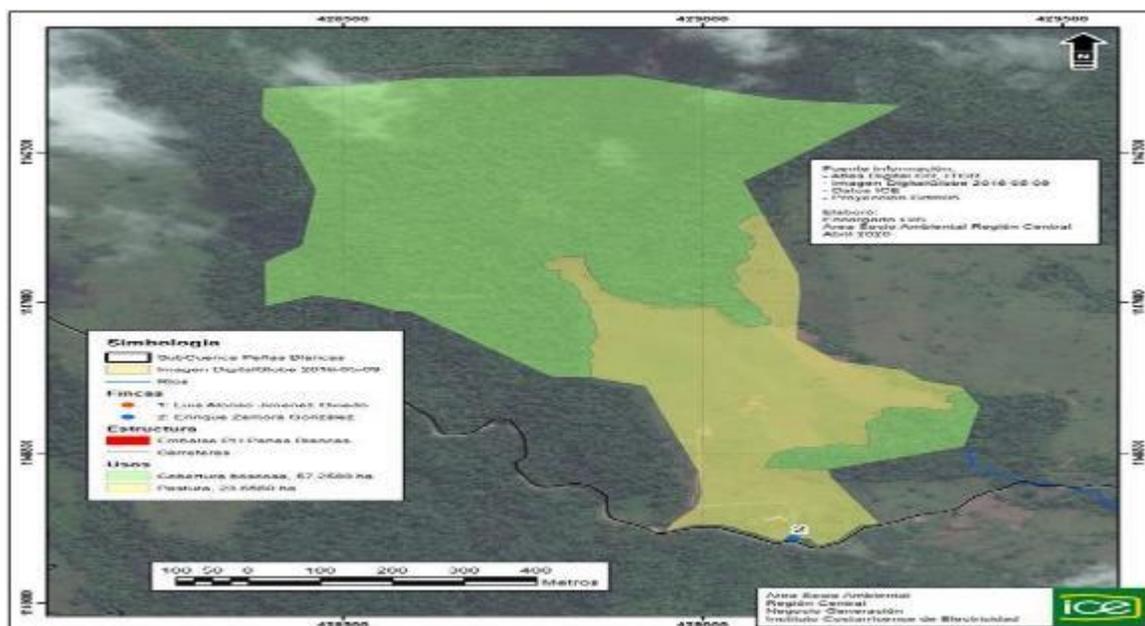
Fuente: Google maps, 2019.

Las fincas se seleccionaron de acuerdo con los siguientes criterios:

- Perteneían al Programa de Gestión Agropecuaria de la Planta Hidroeléctrica Peñas Blancas; específicamente, participaban en acciones de mejoramiento de pastos (Marandú, Xaraés y Mombaza).
- Tenían áreas de potreros con las variedades de pastos mejorados a evaluar, sembrados en pendientes de terreno de entre 35 y 40%, porcentaje de pendiente dominante en esta parte de la cuenca, según lo mencionado por Gonzales, *et al.* (2008).
- Cercanía con estaciones pluviométricas del ICE, lo cual permitió tener acceso a datos de precipitación (eventos de lluvia) más precisos que afectaron las parcelas durante la etapa de estudio.

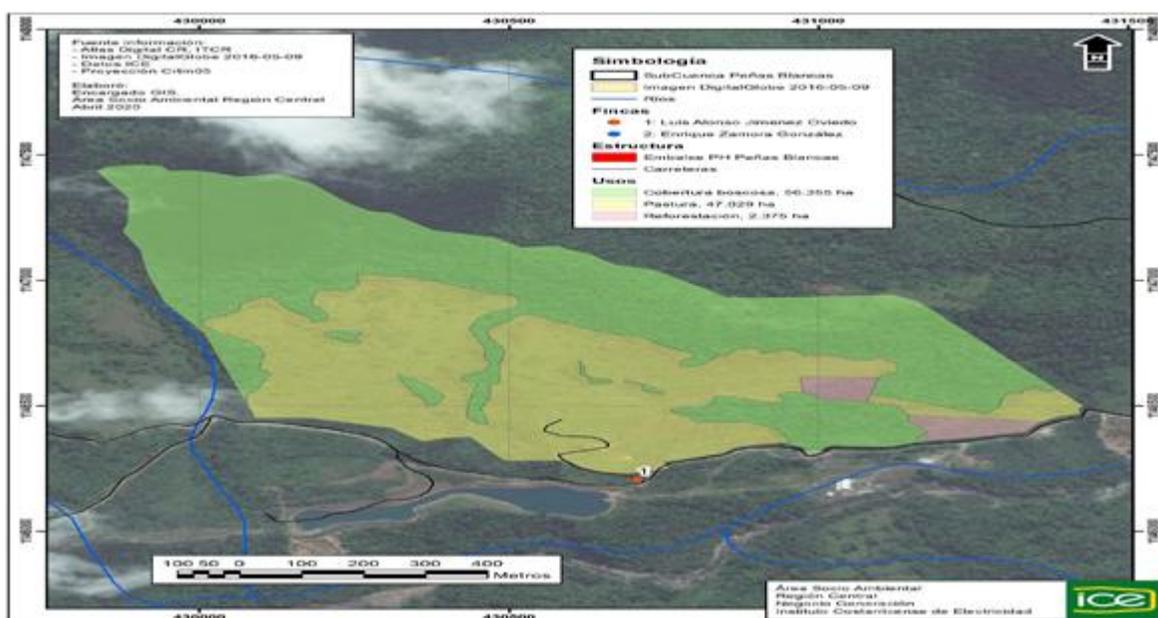
La propiedad del señor Zamora (Figuras 8) se encuentra a una altura promedio de 750 m.s.n.m., cuenta con un total de 80,9 ha, de las cuales 23,6 ha son de uso agropecuario y estaban sembradas con pastos Ratana, Marandú y Xaraés, para alimentación de ganadería de leche (Zamora, 2018).

Figura 8. Imagen satelital de la finca de Enrique Zamora, en la parte alta de la subcuenca del río Peñas Blancas.



La finca del señor Jiménez (Figura 9) se encuentra a una altura promedio de 510 m.s.n.m., cuenta con un total de 105,7 ha, donde 47 ha están destinadas a ganadería, en las cuales se han establecido pastos mejorados como Brizanta, Xaraés y Monbaza, así como algunos sectores con pasto Ratana (Jiménez, 2018). Los suelos de ambas fincas están clasificados dentro del orden Inceptisoles.

Figura 9. Imagen satelital de la finca de Luis Jiménez, en parte alta de la subcuenca del río Peñas Blancas.



2. Selección de sitios para establecer las parcelas de escorrentía

Para determinar los sitios donde se establecieron las barreras de geotextil, se tomó como referencia los criterios mencionados por Villatoro (2018) y Masis (2018). Estos son: condiciones de relieve y pendiente similares, para lo cual se hicieron mediciones con clinómetro. Esto último con el propósito de identificar y seleccionar sitios con similar porcentaje de pendiente, de esta forma homogenizar el efecto en la erosión entre las unidades experimentales. Para ello se realizaron recorridos en ambas fincas. Se determinó que la propiedad del señor Enrique Zamora, presentaba dentro de los sectores donde estaban establecidos los pastos, formas de relieve y pendiente que permitían establecer dos parcelas con características similares por cada pastura. La pendiente característica para estas parcelas fue de 38%. Las dos parcelas de Ratana quedaron a una distancia de 50 m de las réplicas del pasto Xaraés, ya que los sectores de estos pastos estaban cercanos. Las dos réplicas sembradas con Marandú quedaron a 300 m del resto de las parcelas establecidas.

En la propiedad del señor Luis Jiménez, en los sectores donde se encontraban los pastos y que presentaba formas más irregulares de relieve, se estableció una parcela por cada una de los pastos a probar. Allí la parcela de Ratana con pendiente de 38% y Marandú con pendiente de 40%, quedaron a una distancia de 70 m entre ellas y ambas separadas 300 m de la parcela de la pastura Xaraés con pendiente de 38%.

3. Instalación de las barreras de geotextil

Para la instalación de la barrera de geotextil se siguió lo descrito por Prado, *et al.* (2007), quienes establecieron los siguientes pasos:

Seleccionados los sitios, se marcó por medio de estacas pequeñas o una cuerda, la línea donde se excavó la zanja para posteriormente colocar el geotextil a lo largo de la parte baja de la parcela donde se definió el punto de colecta de la escorrentía de la parcela (Figura 10). Este punto de marcado es donde se sabe por observación de campo que los flujos superficiales preferenciales se acumularán y no se perderán

por otras vías. El trazado se realizó de forma que la cuerda estuvo lo más recta posible, para asegurar que la concentración del flujo de escorrentía sobre la barrera fuera lo más uniforme posible, para efectos de estabilidad en momentos de carga hidrostática debido a la combinación de sedimentos y agua.

Las medidas de la zanja estuvieron delimitadas por 15-10 cm de ancho y 15-20 cm de profundidad. La tierra que se removió de la zanja fue colocada al lado del declive (a favor de la pendiente) para ser utilizada posteriormente para rellenar la fosa y enterrar el geotextil. Posteriormente se procedió a rellenar el agujero con el suelo excavado y se compactó de manera que quedó sujeto al terreno para evitar ser arrastrado por el agua de escorrentía.

Figura 10. *Elaboración de zanja e instalación del geotextil en las fincas seleccionadas para el estudio.*



Posteriormente a acomodar y enterrar aproximadamente el 50% del geotextil en la zanja, la parte que queda sobre la superficie se extiende unos 15 cm en dirección de la pendiente, cubriendo el ancho de la zanja y seguidamente el sobrante se orientó y fijó de forma vertical. Para ello se utilizaron estacas de madera con una longitud de entre 80 y 100 cm. Estas se enterraron entre 30 a 40 cm de profundidad y colocaron a una distancia de aproximadamente 40 cm una de otra (Figura 11).

Para sujetar el geotextil a las estacas, se usaron tablillas (reglilla de 1 pulgada x ½ pulgada) y clavos de una pulgada. Se verificó que el geotextil quedara bien ajustado, nivelado y sin presencia de terrones o montículos para evitar la formación de bolsas por debajo, ya que podría dificultar el recorrido del agua sobre la barrera.

Figura 11. Colocación de estacas para sujeción del geotextil.



Cada geotextil estuvo cercado por cinco hilos de alambre liso soportados en tres postes de cemento (Figura 12). Esto con la intención de evitar la entrada del ganado y protegerlo del pisoteo de los animales durante el pastoreo en las parcelas. Por ser una zona con relieve irregular y para evitar el paso de aguas con sedimentos de otras áreas hacia el sitio del geotextil o viceversa, se establecieron cordones de cemento con piedra (5-10 cm de altura) a los lados del área de cada una de las parcelas (50m²) y una zanja (11m) en la parte superior, de acuerdo con lo recomendado por Villatoro (2018).

Figura 12. A) Instalación de postes y cruzado de alambre; B) cordones de piedra con cemento, y C) Geotextil protegido por postes de cemento y alambre.



Durante el desarrollo del ensayo, las parcelas fueron pastoreadas según el manejo que comúnmente realizan los propietarios de las fincas. El pastoreo se efectuó con las razas lecheras predominantes en las fincas como son Holstein y Jersey (Figura 13). De las cuales generalmente se mantenían en pastoreo entre 12 a 14 animales.

Figura 13. Ganado pastoreando dentro y alrededor de parcelas en finca de Enrique Zamora en San Bosco de la Altura de Peñas Blancas, San Ramón. Junio 2019.



4. Toma y procesamiento de datos y análisis de la información

4.1 Pérdida de sedimentos

Se realizaron visitas quincenales de revisión al geotextil de cada parcela para determinar si hubo acumulación de sedimento; situación condicionada a la frecuencia e intensidad de las lluvias. Las pérdidas por efecto de la erosión hídrica se ajustaron a t/ha o g/m² según la magnitud. Para la recolección de muestras se contó con una balanza electrónica (CAMRY modelo Ek5055. Max. 5kg/11lb, ±1g), baldes, una pala, una escoba pequeña, una libreta de campo para anotar los datos de erosión, bolsas plásticas para la toma de muestras de sedimentos y marcadores de color y se siguió la metodología descrita por Prado, *et al.* (2007).

En el sitio, primero se procedió a tarar en la balanza electrónica el peso del recipiente en el cual se depositó el sedimento acumulado en el geotextil. Con la ayuda de la pala y escoba pequeña se recolectó el suelo removido y se depositó en el balde. Luego se procedió a colocar en la balanza para medir el peso. Terminado el proceso de pesaje, se limpió la barrera para eliminar todas las partículas que pudieron quedar en la misma.

Cada muestra de sedimento se depositó en una bolsa plástica previamente identificada para cada parcela, las muestras se trasladaron a la Escuela de Agronomía de la Sede del Instituto Tecnológico en Santa Clara de San Carlos (Figura 14). Las muestras fueron pasadas a bolsas de papel igualmente

identificadas con el nombre de cada parcela, secadas en horno por un periodo mínimo de 24 h a 105°C y pesadas para determinar el peso seco del suelo y así estimar el contenido de humedad a partir de la diferencia respecto al peso inicial.

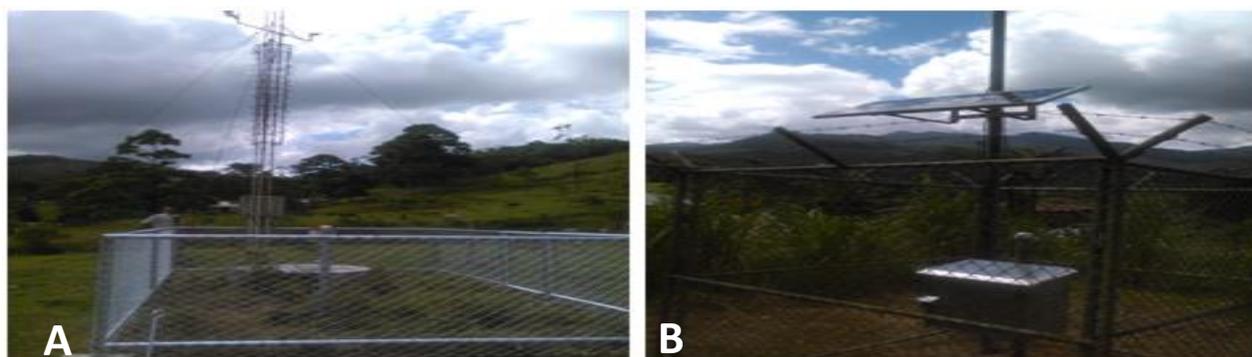
Figura 14. A-B) Proceso de recolección de sedimentos, C) pesado, y D) traslado de estos al TEC- San Carlos, para secado.



4.2 Precipitación

Para conocer la información de la precipitación, se solicitaron los registros crudos, cada 30 min de las estaciones meteorológicas cercanas a las parcelas experimentales durante el periodo del 5 abril al 16 diciembre de 2019 (Figura 15).

Figura 15. Estaciones meteorológicas cercanas a los sitios de recolección de sedimentos. A) Los Ángeles de la Tigra. B) San Miguel de la Tigra.



Los datos de precipitación se ordenaron en una matriz (Anexo 6), para calcular los parámetros respectivos (número de eventos, intensidad, intensidad máxima, duración), así como la precipitación diaria y la precipitación acumulada a la fecha de cada una de las visitas de campo. Con la información procesada en la matriz se realizó el análisis de pérdida de sedimentos de los pastos. Para esto, los datos de lámina de lluvia acumulada registrada por cada visita, las cuales se realizaron cada 15-22 días durante el periodo del estudio (9 meses), se agruparon en rangos de similar precipitación (Anexo 7). Los rangos establecidos fueron los siguientes; Grupo 1: 51-75 mm, Grupo 2: 150-203 mm, Grupo 3: 241-262 mm, Grupo 4: 265-275 mm, Grupo 5: 366-421 mm, Grupo 6: 481 a 501 mm.

Seguidamente se realizó otro análisis con los datos de lámina de lluvia acumulada registrada por cada visita y respectiva pérdida de sedimentos encontrada. Pero en esta ocasión en grupos de similar número de días (60-65) comprendiendo entre 3-4 visitas. Se fijaron cuatro grupos; Grupo 1: 604 mm, Grupo 2: 1018 mm, Grupo 3: 1142 mm, Grupo 4: 868 mm. Posterior a estos análisis, se realizó una estimación de la pérdida de sedimentos en ton/ha y su categorización según la clasificación de erosión establecida por la FAO, citada por Marchámalo (2004), con los datos de pérdida de sedimentos obtenidos en cada una de las visitas de campo realizadas.

4.3 Diseño experimental y análisis estadístico

Para la evaluación de la variable erosión se estableció un diseño de parcelas divididas en el tiempo, donde el factor A o principal fue el tipo de pasto (con tres niveles constituidos por los tres pastos presentes en cada finca) con tres repeticiones por tipo de pasto (2 repeticiones de cada pasto en la finca de Enrique Zamora y una tercer repetición de cada pasto en la finca de Luis Jiménez) y el factor B o sub unidades fueron las láminas de lluvia acumulada (seis agrupaciones establecidas).

El modelo experimental para evaluar el efecto de los pastos x lámina de lluvia acumulada, fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + P_i + E_p + L_j + P_i * L_j + \epsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Variable respuesta

μ = Media general

P_i = Efecto de la i-ésima pasto

E_p = Error experimental de pastos

L_j = Efecto de j-ésimo lamina de lluvia acumulada

$P_i * L_j$ = la interacción de la i-ésima Pasto por la j-ésima lamina de lluvia acumulada

ϵ_{ij} = Error experimental de la interacción

La comparación entre tratamientos se realizó mediante la técnica de Modelos Lineales Mixtos y Generales (MLMix). Para determinar diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos se aplicó la prueba de comparación múltiple de Bonferroni. Todos los análisis se ejecutaron con el programa estadístico InfoStat/P (Di Rienzo, 2018), con un nivel de significancia de 0,05.

4.4 Análisis de regresión lineal simple

4.4.1 Pérdida de sedimentos en pastos en función de la precipitación

Para conocer la relación entre las variables precipitación acumulada (x) y la producción de sedimentos (y) para cada pasto, se realizó una regresión lineal, para esto se construyó previamente una matriz con la información recopilada (Anexo 8) según la metodología indicada por Tapia, *et al.* (2002).

Posteriormente se adaptó la función $y = a + XB$ a los resultados de la regresión $\ln y = \ln a + XB$.

Donde:

y = salida de sedimentos

a = intercepto de regresión

X = precipitación acumulada

b = el coeficiente para cada uno de los pastos.

Seguidamente, para determinar diferencias en la salida de sedimentos (g/ha/mes) entre los tres pastos, se determinó la existencia de diferencias significativas en las pendientes de regresión de los modelos (Anexo 9) de acuerdo con la expresión:

$$t = \frac{b_1 - b_2}{\sqrt{Sp \left[\frac{1}{SS_1} \right] + \left[\frac{1}{SS_2} \right]}} \quad (1)$$

$$Sp = \frac{MSE_1 - MSE_2}{2} \quad (2)$$

Donde:

Sp = estimación combinada del error de las ecuaciones con n-2+n-2 grados de libertad

b1 y b2 = pendientes de regresión para las ecuaciones

SS1 y SS2 = suma de cuadrados del modelo de regresión

MSE1 y MSE2 = cuadrado medio del error de regresión de las ecuaciones.

Se efectuó la prueba de homogeneidad de varianzas de los errores de los modelos de regresión para cada tratamiento, para respaldar las comparaciones entre los coeficientes del modelo.

Posteriormente se elaboró una tabla (Anexo 10) con los resultados de la regresión para los valores de mm lluvia acumulada-pérdida de sedimentos, para cada uno de los pastos y se procedió a comparar dichos valores por medio de gráfico de dispersión.

4.4.2 Erosividad de las lluvias

Para estimar la erosividad de las lluvias en la zona de estudio se calculó el Índice Modificado de Fournier (IMF) (Caba, 2019) y el índice R (Pérez y Mesa, 2004) de acuerdo con las siguientes ecuaciones.

$$IMF = \sum_i^{12} \frac{P_i^2}{P_i} \quad (3)$$

Donde:

IMF = Índice modificado de Fournier

p_i = Precipitación media mensual (mm)

P_t = Precipitación media anual (mm)

i = Mes

$$R = \frac{\left[\sum_{j=1}^n (1.213 + 0.890 \log_{10} I_j)(I_j T_j) \right] I_{30}}{173.6} \quad (4)$$

Donde:

R = factor de erosividad por precipitación pluvial $[(\text{Kgf} \cdot \text{m} \cdot \text{m}^{-2})(\text{mm h}^{-1})]^2$

I_j = intensidad de la precipitación pluvial para un incremento específico de la intensidad [mm/h]

T_j = periodo de incremento de tempestad específica [h]

I_{30} = la intensidad máxima de precipitación pluvial durante 30 minutos para la tormenta [mm/h]

j = incremento de la tempestad específica

n = el número de incrementos de la tempestad

Se procedió a elaborar una segunda matriz con los datos de precipitación acumulada y pérdida de sedimentos por parcela, registrados para cada visita y los valores respectivos al despejar tanto del índice IMF como el Factor R (Anexo 11), de acuerdo con lo descrito por Tapia, *et al.* (2002).

En esta ocasión se hicieron dos regresiones; una entre los valores de precipitación acumulada (X), la salida de sedimentos (y) y el IMF. Y la otra regresión para determinar la relación entre la precipitación acumulada (X), la salida de sedimentos (y), y el Factor R. Posteriormente se adaptó la función 5 a los resultados de cada una de las regresiones:

$$Y = a X^b \quad (5)$$

Donde:

Y = salida de sedimentos

a y b = coeficientes de ajuste (constantes)

X = la variable independiente asociada a precipitación medida (lámina total, energía acumulada (IFM) e índice de factor R).

Para facilitar el ajuste de los datos, se aplicó logaritmo a la función para linearizarla, y una vez resueltos para los coeficientes, se volvió a expresar como exponencial.

Para índice IFM, $\ln y = \ln a X^b$

Donde:

y = salida de sedimentos

a = intercepto de regresión

X = valores IFM

b = coeficiente para cada una de los pastos

Para Factor R, $\ln y = \ln a X^b$

Donde:

y = salida de sedimentos

a = intercepto de regresión

X = valores R

b = el coeficiente para cada una de los pastos

Para determinar diferencias en la salida de sedimentos (g/ha/mes) en función del tipo de pasto, para el IFM y el índice Factor R, se efectuó la prueba para determinar diferencias significativas en las pendientes de regresión de los modelos (Anexo 12), descrita por Tapia, *et al.* (2002).

Seguidamente se elaboraron dos tablas (Anexo 13); una con los resultados de la regresión para los valores del índice IFM-pérdida de sedimentos y la otra con los resultados de la regresión para los valores del índice factor R-pérdida de sedimentos, para cada uno de los pastos. Se procedió a comparar los valores de cada índice por medio de gráficos de dispersión.

5. Caracterización de suelos de las parcelas de esorrentía

Para realizar la caracterización de los suelos de las parcelas de esorrentía se seleccionaron los siguientes parámetros:

5.1 Características físicas

Se evaluaron las variables indicadas por Villatoro (2018) y lo citado por Cerdas (2008), las cuales son: Densidad aparente (g cm^{-3}), Densidad de partículas (g cm^{-3}), Estabilidad de agregados (%), Porosidad (%) y textura (% de arenas, arcillas y limos).

La extracción de las muestras para la caracterización se hizo con cilindros metálicos de 5 cm de altura y 5 cm de diámetro (Figura 16). Estas muestras fueron trasladadas al laboratorio del Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la UCR, para realizar los análisis mencionados.

Figura 16. Obtención de muestras en área de parcelas para análisis físico del suelo. Junio, 2019.



5.2 Características químicas y microbiológicas

Para determinar las características químicas y microbiológicas del suelo de cada parcela, se siguió el procedimiento descrito por Gómez y Paolini (2010). En cada una de las parcelas establecidas, se tomó una muestra aproximada de 500 g (a 0-10 cm de profundidad) con el uso de barreno (Figura 17). Las muestras se colocaron en bolsas plásticas tipo “zip-lock” con datos de la fecha, parcela y finca y se trasladaron al laboratorio del CIA de la UCR, para realizar los análisis descritos a continuación.

Los análisis químicos y biológicos del suelo consistieron en: respiración microbiana, biomasa microbiana, actinomicetos, químico completo, C total y N total (Torres, 1995; Bautista, *et al.*, 2004; Iglesias, 2008; Cerdas, 2008; Gómez y Paolini, 2010; Lok, 2010; Prieto, *et al.*, 2013).

Figura 17. Muestreo en área de parcelas para caracterización de suelos. Junio, 2019.



5.3 Diseño experimental y análisis estadístico

La evaluación de las variables físico-químicas y biológicas, se condujo bajo un diseño de muestreo por puntos. En cada parcela se tomaron cinco submuestras en zigzag para formar una muestra compuesta. La información obtenida se analizó bajo el modelo matemático de un diseño completamente al azar.

$$Y_{ij} = \mu + P_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Variable respuesta

μ = Media general

P_i = Efecto de la i -ésima pastura

ϵ_{ij} = Error experimental del modelo

Para determinar diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos se aplicó la prueba de comparación múltiple de Bonferroni. Todos los análisis se ejecutaron con el programa estadístico InfoStat/P (Di Rienzo, 2018), con un nivel de significancia de 0,05.

Capítulo IV. Resultados y Discusión

1. Producción de sedimentos en parcelas de escorrentía

1.1 De acuerdo con tipo de pasto

No se determinó diferencias significativas en cuanto a pérdida de sedimentos a partir de suelos sembrados con los tres pastos; ya sea mejorados (*B. brizantha* Marandú y Xaraés) o rústicos (*I. indicum*; Ratana) (Cuadro 1). Por lo tanto, no existen diferencias vinculadas a su efecto en la conservación de suelo frente a erosión hídrica.

Cuadro 1. Valores promedio (\pm DE) de la pérdida de sedimentos (por visita de muestreo) a partir de suelos sembrados con pastos mejorados *Brachiaria brizantha* (Marandú y Xaraés) e *Ischemum indicum* (Ratana) en la parte alta de la cuenca del río Peñas Blancas.

Pastos	Marandú	Ratana	Xaraés	Valor P
Sedimentos (g/m ²)	0,39 \pm 0,22 a	0,46 \pm 0,57 a	0,25 \pm 0,30 a	0,3287

Letras diferentes en la fila indican diferencias estadísticamente significativas entre pastos (Prueba LSD Fisher ($P < 0,05$)).

Es importante señalar que se presentó una alta dispersión en los datos de producción de sedimentos (indicado por la desviación estándar), lo cual ha sido previamente reportado por otros autores que han desarrollado investigaciones de este tipo (Nearing, *et al.*, 1999), este comportamiento de los datos influye de manera importante en el proceso de análisis de la información. Por esta razón, los autores citados anteriormente sugieren establecer un número alto de réplicas cuando se realizan estudios de erosión; por ejemplo, unas 40 parcelas experimentales. Estudios sobre fenómenos de erosión son críticos para el avance de la comprensión del fenómeno; específicamente, el conocimiento sobre la variabilidad de los datos es bastante limitado, por lo que estudios más detallados en el tema se justifican. Los resultados de erosión en la presente investigación constituyen un aporte importante de información sobre erosión hídrica de suelo bajo cobertura de pastos.

1.2 De acuerdo con la precipitación

1.2.1 Lámina de lluvia acumulada

Se confirmaron diferencias significativas en cuanto a pérdida de sedimentos en los suelos sembrados con los pastos ($P < 0,05$), según grupos establecidos de acuerdo con la lámina de lluvia acumulada (Cuadro 2). De este modo se definieron seis grupos con láminas crecientes de lluvia acumulada, de tal forma que por ejemplo, el grupo uno comprende lluvias que oscilaron entre 51 y 75 mm de lluvia acumulada y sus respectivos registros de pérdida de sedimentos. El grupo 5 (366-421 mm), fue el que presentó los valores más altos de acumulación de sedimentos, y el grupo 3 (241-262 mm) presentó los valores más bajos de acumulación de sedimentos.

Cuadro 2. Valores promedio ($\pm DE$) de sedimentos producidos, para cada uno de los grupos de rangos establecidos, según láminas de lluvia acumulada, registradas para cada visita (cada 15-22 días) durante el periodo del estudio (9 meses).

Grupos de rangos acuerdo con lámina de lluvia acumulada (mm)							
Grupos	1	2	3	4	5	6	Valor P
Sedimentos	0,38 \pm 0,34	0,26 \pm 0,40	0,15 \pm 0,17	0,24 \pm 0,13	0,61 \pm 0,58	0,51 \pm 0,46	0,1806
(g/m ²)	ab	ab	b	ab	a	ab	

Letras diferentes en la fila, indican diferencias estadísticamente significativas entre grupos (Prueba LSD Fisher, $P < 0,05$). Grupo 1: 51 a 75 mm, Grupo 2: 150-203 mm, Grupo 3: 241-262 mm, Grupo 4: 265-275 mm, Grupo 5: 366-421 mm, Grupo 6: 481 a 501 mm.

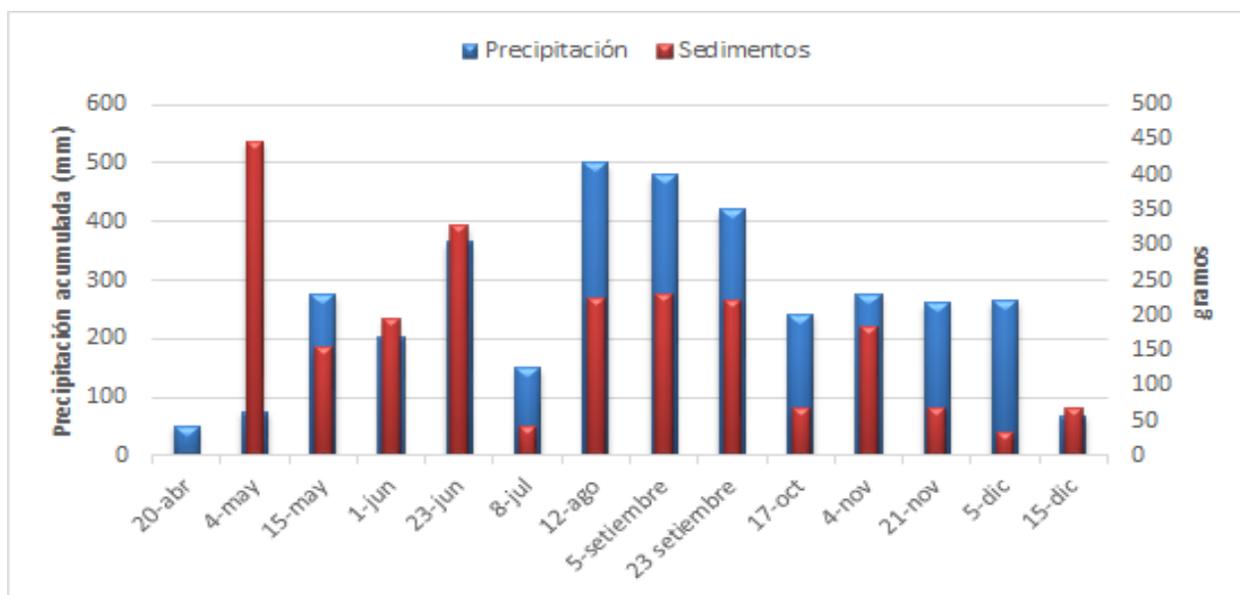
Es importante mencionar que en algunas parcelas el ganado removió suelo cerca del borde del geotextil (Figura 18), lo cual provocó mayor producción de sedimentos en ciertos periodos de tiempo, hecho que influyó en los resultados obtenidos en forma muy puntual.

Figura 18. Suelo removido por pisoteo del ganado cerca del geotextil; (A) Pasto Marandú, visita del 4 de mayo y B) pasto Ratana, visita del 23 junio, del 2019.



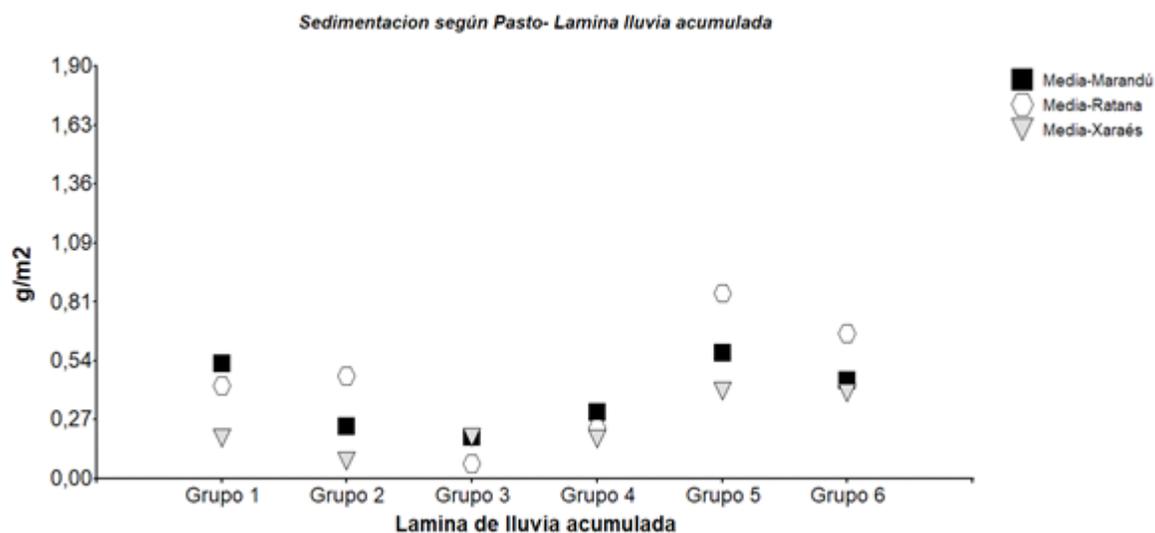
El efecto del pisoteo del ganado puede inferirse al analizar la producción de sedimentos totales registrada quincenalmente con relación a la precipitación acumulada para dicho periodo de tiempo (Figura 19). De acuerdo con los resultados obtenidos, las fechas en que se encontraron las mayores cantidades de sedimentos, no coincidieron con los periodos de mayor precipitación.

Figura 19. Relación entre la precipitación acumulada y la pérdida de sedimento medida en las parcelas de escorrentía sembradas con los pastos Xaraés, Marandú y Ratana en la parte alta de la cuenca del río Peñas Blancas, San Ramon, Alajuela. Los datos se muestran de manera quincenal, durante el periodo de estudio (9 meses).



Al analizar la información de la pérdida de sedimentos de acuerdo con los tipos de pastos de manera individual y su relación con la lámina de lluvia acumulada (grupos establecidos) (Figura 20), se observa que el pasto mejorado Xaraés, presentó menor acumulación de sedimentos en cinco de los seis grupos. Por otro lado, el pasto Ratana fue el que presentó mayor acumulación de sedimentos en tres de los seis grupos, superado ligeramente por el pasto Marandú en el grupo 1, y en el grupo 3 por ambos pastos mejorados (Figura 20).

Figura 20. Pérdida de sedimento medida en las parcelas de escorrentía sembradas con los pastos Marandú, Xaraés y Ratana, en la cuenca del río Peñas Blancas en San Ramón, Costa Rica, de acuerdo con los grupos definidos por láminas de lluvia acumulada.



1.2.2 Acumulación bimensual

No se determinó diferencias significativas en la producción de sedimentos de suelos sembrados con los tres pastos; ya sea mejorados (*B. brizantha*; Marandú y Xaraés), o naturales (*I. indicum*; Ratana) de acuerdo con la precipitación acumulada de manera bimensual (Cuadro 3).

Cuadro 3. Valores promedio (\pm DE) de pérdida de sedimento medida de acuerdo con precipitación acumulada de manera bimensual durante el periodo del estudio (9 meses).

Grupos	Grupos periodos bimensual (mm)				Valor P
	1	2	3	4	
Sedimentos (g/m^2)	0,45 \pm 0,43 a	0,44 \pm 0,37 a	0,38 \pm 0,39 a	0,20 \pm 0,13 a	0,4824

Letras diferentes en la fila, indican diferencias estadísticamente significativas entre periodos (Prueba LSD Fisher, $P < 0,05$). Grupo 1: 604mm, Grupo 2: 1017mm, Grupo 3: 1143mm, Grupo 4: 869mm.

La categorización de los resultados de producción de sedimentos según la clasificación de erosión establecida por la FAO (citado por Marchámalo, 2004), indican que los suelos en las condiciones del estudio presentan una baja susceptibilidad a la erosión (Cuadro 4).

Cuadro 4. Pérdida de sedimentos promedio expresada en t/ha/mes y clasificación de erosión asociada, para cada uno de los pastos evaluados.

Pastura	Pérdida de sedimentos (t/ha/mes)	Clasificación †
Ratana	0,0092	Erosión baja
Marandú	0,0078	Erosión baja
Xaraés	0,0050	Erosión baja

† Clasificación de erosión suelos (t/ha/año) FAO; Erosión baja = <10 , Erosión Moderada = 10-50, Erosión Severa = 50-200, Erosión muy severa = >200 .

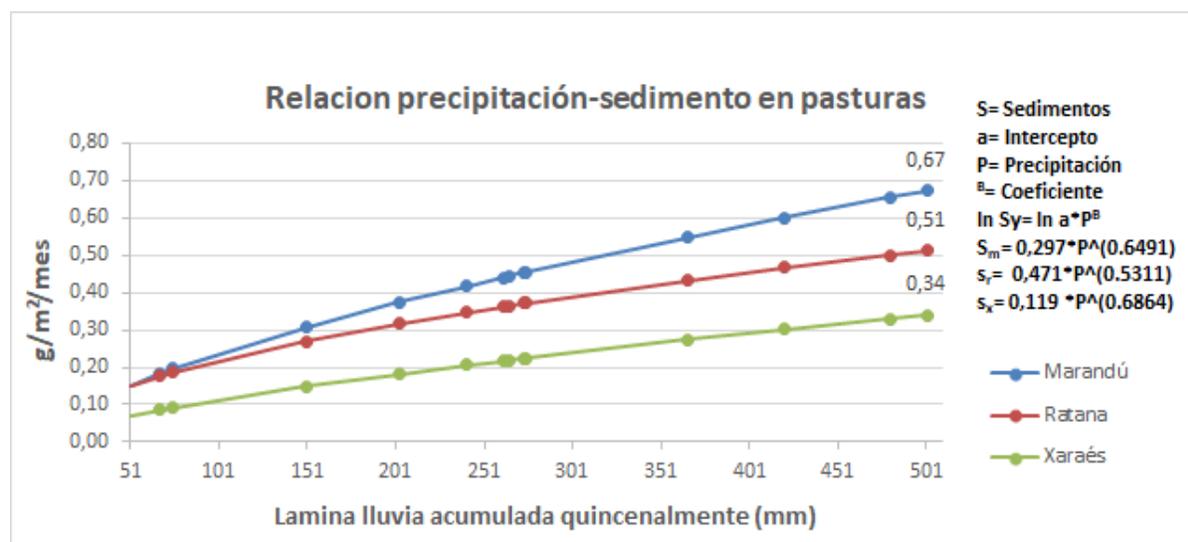
Estudios similares realizados en Costa Rica, específicamente en la microcuenca del río Santa Rosa, centro de generación Arcosa, Tilarán, Guanacaste, evidenciaron producción de sedimentos en áreas de pastos (con pendientes de 30 a 45%) de 0,0016 a 0,005 t/ha/mes (Acuña, 2010; Aguilar, 2010; Masís, 2017), los cuales son menores a los encontrados en el presente estudio. Sin embargo, la producción de sedimentos en áreas de pastos puede incrementarse sustancialmente en otras áreas del país, como lo

indica un estudio realizado en la parte alta de la cuenca alta del Río Reventazón, en la zona de producción ganadera con pendiente de 25 a 35%. En dicho estudio la producción máxima de sedimentos en pastos degradados y pastos mejorados fue de 2,5 t/ha/mes y 0,689 t/ha/mes respectivamente (Salas, *et al.*, 2013). Esta variabilidad encontrada en diversas regiones del país refuerza la idea de realizar investigaciones más detalladas para comprender el fenómeno de erosión hídrica en áreas con diferentes condiciones ambientales y de manejo.

1.3 Proyección de pérdida de sedimentos de acuerdo con tipo de pasto y precipitación

Al ajustar los datos por tipo de pasto y utilizando el modelo de ajuste exponencial se obtuvo tendencias claras (Figura 21). El pasto Xaraés se proyecta como la pastura bajo la cual ocurre menor pérdida de sedimentos. A una lámina de lluvia acumulada de 501 mm quincenales, se estima que en el suelo sembrado de pasto Xaraés, se generarían 0,34 g de sedimento por m²/mes. Le sigue el pasto Ratana, que tendría una tendencia a generar 0,51 g de sedimento por m²/mes. Finalmente, el pasto Marandú tendría la tendencia a generar la mayor cantidad de sedimento, con 0,67 g de sedimento por m²/mes.

Figura 21. Proyección de la pérdida de sedimentos para cada pastura vs. precipitación acumulada, durante el periodo de investigación. Se hicieron pruebas de comparación de coeficientes para las pendientes de cada curva (tipo de pasto).



Las diferencias encontradas en las tendencias de producción de sedimentos en parcelas sembradas con pasto Xaraés, las cuales son menores respecto al Ratana y Marandú pueden explicarse por las características morfológicas de los pastos, que pueden influir tanto el golpe directo de las gotas de lluvia en el suelo, como la retención de pérdida de sedimentos trasladada por escorrentía. El pasto Xaraés presenta una altura promedio de 1,6 m, hojas de 2 a 2,2 cm de ancho y 62 cm de largo y un sistema radical profundo y vigoroso (Peters, *et al.*, 2011), lo cual permite una mayor cobertura y por lo tanto protección del suelo.

Los otros dos pastos tienen menor crecimiento y menor cobertura del suelo (Ratana = altura promedio de 30 cm y sistema radicular adventicio muy superficial; Marandú = altura promedio de 1,5 m, hojas de 1,6 a 2 cm ancho y 40 a 59 cm de largo) (Peters, *et al.*, 2002; Villalobos y Montiel, 2015), haciéndolo más susceptible al golpe del agua en el suelo.

Otro aspecto que puede influir en la pérdida de sedimentos en suelos sembrados con los pastos probados es la recuperación de los cultivares bajo pastoreo; ya que el pasto Xaraés se recupera rápidamente promoviendo la protección del suelo, mientras que la recuperación del Marandú es más lenta, dejando el suelo desprotegido por periodos de tiempo más largos (Lascano, *et al.*, 2002).

2 Determinación de la erosividad

2.2 Índice de Fournier Modificado (IFM)

Las precipitaciones registradas durante el estudio mostraron valores de agresividad considerados de bajo a muy bajo impacto (Cuadro 5) de acuerdo con el IFM, propuesto por Lobo, *et al.* (2011) para Latinoamérica.

Cuadro 5. Clasificación de la agresividad de lámina de lluvia acumulada (quincenalmente), según Índice de Fournier Modificado, para el sitio de estudio en la parte alta de la cuenca del río Peñas Blancas.

Precipitación acumulada (mm)	Índice Fournier Modificado	Calificación
51	0,7	Muy Baja
68	1,3	Muy Baja
75	1,5	Muy Baja
150	6,2	Muy Baja
203	11,3	Muy Baja
241	16	Muy Baja
262	18,9	Muy Baja
265	19,3	Muy Baja
274	20,7	Muy Baja
275	20,8	Muy Baja
366	36,9	Muy Baja
421	48,8	Muy Baja
481	63,7	Baja
501	69,1	Baja

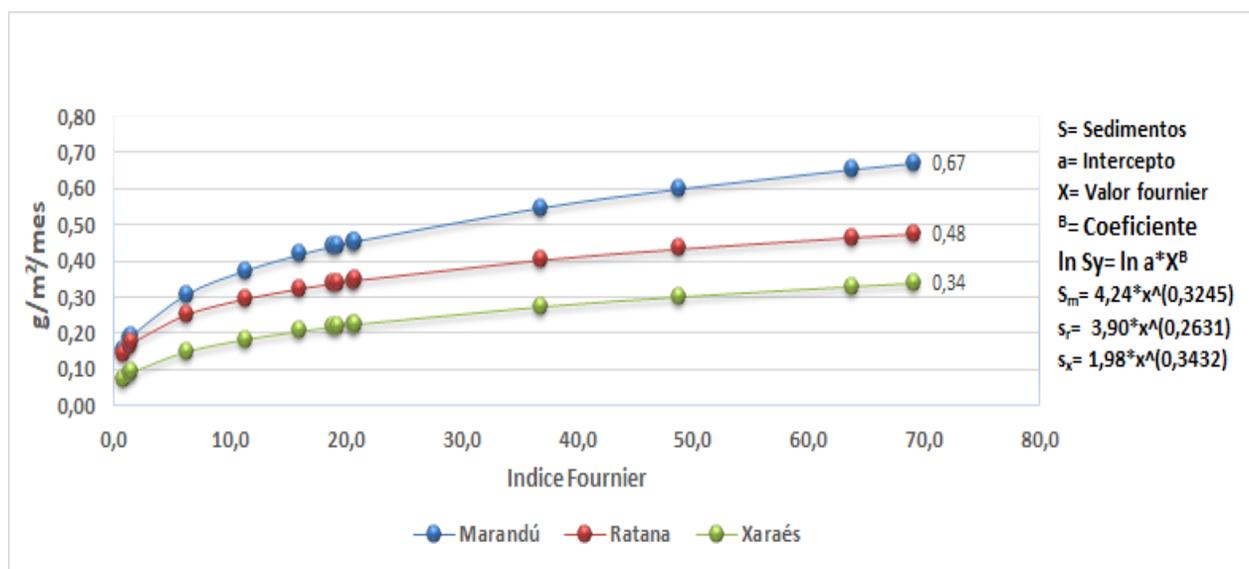
† Clasificación del IFM para Latinoamérica (Lobo, *et al.*, 2011).

Muy baja= Menor de 60, Baja= 60 a 90, Moderada= 90 a 120, Alta= 120 a 160, Muy alta= Mayor de 160

Los valores de IFM fueron menores a los reportados en otros estudios sobre erosividad en zonas agrícolas tropicales de Latinoamérica donde se obtuvieron valores de IFM, mayores a 160, 218 y 120 respectivamente (Ramírez, *et al.*, 2007; Lince y Castro, 2015; Caba, 2019).

La función de ajuste de sedimentos vs. el IFM, muestran que el pasto Xaraés, puede contribuir a proteger más el suelo, al estar asociado con menos pérdida de sedimentos bajo las mismas condiciones de agresividad de lluvias (0,34 g/m²/mes). En segundo lugar, el pasto natural Ratana (0,48 g/m²/mes). Siendo el pasto mejorado Marandú, el que al parecer sería más afectado por el factor de agresividad de los eventos de precipitación (0,67 g/m²/mes) (Figura 22).

Figura 22. Relación índice Fournier- producción de sedimentos en parcelas de escorrentía sembradas con cada uno de los pastos en la parte alta de la cuenca del río Peñas Blancas, San Ramon, Alajuela. Se hicieron pruebas de comparación de coeficiente para la pendiente.



2.3 Índice factor R

Las precipitaciones registradas para cada una de las visitas al sitio de estudio mostraron valores de erosividad considerada natural, según la clasificación del Índice de Factor R (Cuadro 6).

Cuadro 6. Clasificación de la erosividad de precipitaciones según Factor R, para el sitio de estudio en la parte alta de la cuenca de Peñas Blancas.

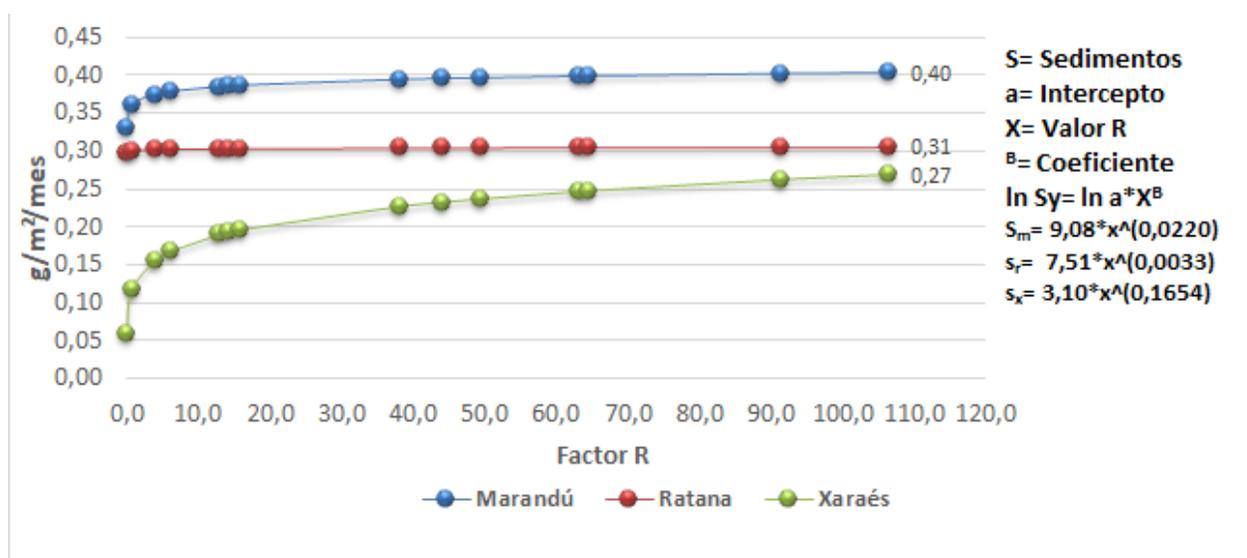
Precipitación acumulada (unidades)	Factor R	Clasificación
51	0,7	Natural
68	4,0	Natural
75	0,0	Natural
150	6,1	Natural
203	13,0	Natural
241	44,0	Natural
262	14,3	Natural
265	15,9	Natural
274	38,2	Natural
275	64,4	Natural
366	49,5	Natural
421	106,4	Natural
481	91,4	Natural
501	63,2	Natural

Clasificación de la erosividad propuesta por Rivera y Gómez (1991). Natural= Menor de 1000, Muy baja= 1000 a 2500, Baja= 2500 a 5000, Moderada= 5000 a 7500, Alta= 7500 a 10000, Muy alta= 10000 a 15000, Severa= 15000 a 20000, Extremadamente severa= mayor de 20000.

La clasificación de los valores del índice R, coinciden con la clasificación de referencia para el cantón de San Carlos, en un estudio realizado por Günther (1990) sobre el potencial erosivo de la lluvia en Costa Rica; cuyo valor del Factor R fue de 525,6 para este cantón. Esto refiere la zona del estudio dentro de erosividad natural, según la clasificación de erosividad de Rivera y Gómez (1991). Sin embargo, los valores obtenidos en este estudio fueron menores a los reportados en estudios sobre erosividad realizados en otras zonas agrícolas tropicales de América Latina (Ramírez, *et al.*, 2007; Lince y Castro, 2015).

La función de ajuste de producción de sedimentos vs. el Factor R, muestra de nuevo que el pasto Xaraés, puede contribuir a proteger más el suelo, al generarse menos pérdida de sedimentos bajo las mismas condiciones de erosividad de lluvias en comparación a los otros pastos. En segundo lugar, el pasto natural Ratana, siendo el pasto mejorado Marandú, el que sería más afectado por la energía erosiva de los eventos de precipitación en la zona de estudio (Figura 23).

Figura 23. Relación índice Factor R-producción de sedimentos en parcelas de escorrentía sembradas con cada uno de los pastos evaluados en la parte alta de la cuenca del río Peñas Blancas, San Ramon, Alajuela. Se hicieron pruebas de comparación de coeficiente para la pendiente.



3 Caracterización de los suelos en las parcelas de escorrentía

Los suelos de las tres parcelas de escorrentía no presentaron diferencias significativas en ninguno de los indicadores físicos de densidad aparente, densidad de partículas, porosidad y estabilidad de agregados. Respecto a la textura, los suelos de las parcelas del pasto Marandú fueron los que presentaron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$) en los porcentajes de arena, limo y arcilla respecto a las parcelas de los pastos Xaraés y Ratana (Cuadro 7).

Cuadro 7. Valores promedio (\pm DE) de los indicadores físicos de los suelos sembrados con los tres pastos evaluados en la parte alta de la cuenca del río Peñas Blancas.

Indicadores	Marandú	Ratana	Xaraés	Valor P
Densidad aparente (g cm^{-3})	0,60 \pm 0,10 a	0,47 \pm 0,21 a	0,53 \pm 0,23 a	0,7023
Densidad de partículas (g cm^{-3})	2,10 \pm 0,26 a	2,17 \pm 0,12 a	2,17 \pm 0,21 a	0,9017
Porosidad %	70,7 \pm 8,75 a	78,7 \pm 8,29 a	75,9 \pm 7,98 a	0,5266
Estabilidad de agregados %	35,3 \pm 28,05 a	62,2 \pm 5,79 a	48,8 \pm 33,83 a	0,4826
Arena (%)	58,0 \pm 11,53 b	84,0 \pm 3,61 a	87,3 \pm 2,52 a	0,0045*
Limo (%)	21,7 \pm 6,03 a	8,7 \pm 1,15 b	5,3 \pm 0,58 b	0,0031*
Arcilla (%)	20,3 \pm 7,64 a	7,3 \pm 4,04 b	7,3 \pm 2,52 b	0,0340*
Textura	F. arenoso-arcilloso	Arena Franca	Arena Franca	

* Indica diferencias estadísticamente significativas detectadas con la técnica de Modelos Lineales Mixtos y Generales ($P < 0,05$). Letras diferentes en filas, indican diferencias estadísticamente significativas entre pastos (Prueba LSD Fisher, $P < 0,05$).

El suelo de los sitios donde se encontraba establecido el pasto Marandú, presentó una textura con mayor presencia de limos y arcillas con relación a los sitios donde se encontraron establecidos los pastos Xaraés y Ratana, los cuales presentaron una textura con un porcentaje de arena de entre 84 y 87%. Las diferencias en textura pudieron tener una marcada influencia en fenómenos asociados a la erosión hídrica como son la infiltración y la escorrentía (García, *et al.*, 2008; FAO, 2016).

Estudios realizados por la Universidad de Sevilla (2008) y Sanclemente (2011) coinciden en que suelos con mayor contenido de arena tienen tasas de infiltración más altas que suelos de texturas finas, puesto que la presencia de macroporos permite la entrada de un mayor caudal de agua. Los valores normales de infiltración en suelos franco-arenosos son de 13 a 25 mm h^{-1} , mayores que en suelos franco-limosos con infiltración de 4 a 10 mm h^{-1} y finalmente para suelos franco arcillosos de entre 2,5 y 15 mm h^{-1} .

Esta diferencia en la textura del pasto Marandú con relación al Xaraés y Ratana, contribuye a explicar por qué el suelo sembrado con pasto Marandú, fue el más afectado por el fenómeno de erosión hídrica, con mayor generación de sedimentos (Figuras 21-23).

En cuanto a las características químicas, los suelos sembrados con pasto Marandú difirieron significativamente en acidez, Mg, CICE, Zn y Mn, las cuales fueron mayores en comparación con los otros dos pastos (Cuadro 8). Por otro lado, los valores de %C y %N resultaron menores en suelo de pasto Marandú respecto a los otros dos pastos ($P < 0,05$). Para el resto de las características químicas no hubo diferencias significativas de acuerdo con el tipo de pasto y de suelo (Cuadro 8).

Cuadro 8. Valores promedio (\pm DE) de las características químicas de los suelos sembrados con los tres pastos evaluados en la parte alta de la cuenca de Peñas Blancas.

Indicadores	Marandú	Ratana	Xaraés	Valor P	† Ámbito óptimo
pH	5,43 \pm 0,21 a	5,57 \pm 0,06 a	5,63 \pm 0,06 a	0,2342	5.6-6.5
Acidez cmol(+)/L	0,43 \pm 0,15 a	0,23 \pm 0,06 b	0,17 \pm 0,06 b	0,0399*	0.5-1.5
Mg cmol(+)/L	1,79 \pm 0,25a	0,38 \pm 0,30 b	0,40 \pm 0,30 b	0,0013*	1-5
K cmol(+)/L	0,21 \pm 0,22 a	0,11 \pm 0,03 a	0,13 \pm 0,05 a	0,6180	0.2-0.6
CICE cmol(+)/L	6,70 \pm 2,70 a	2,17 \pm 1,59 b	2,00 \pm 1,48 b	0,0465*	5-25
SA %	7,87 \pm 4,28 a	13,03 \pm 5,23 a	10,00 \pm 3,67 a	0,4135	10-50
Zn mg/L	1,67 \pm 0,57 a	0,80 \pm 0,10 b	0,73 \pm 0,23 b	0,0335*	2-10
Ca cmol(+)/L	4,27 \pm 2,38 a	1,50 \pm 1,21 a	1,30 \pm 1,04 a	0,1240	4-20
Cu mg/L	8,00 \pm 2,65 a	6,33 \pm 0,58 a	6,00 \pm 1,00 a	0,3542	2-20
Fe mg/L	110,00 \pm 28,51 a	70,00 \pm 23,39 a	68,33 \pm 7,57 a	0,0968	10-100
Mn mg/L	27,33 \pm 5,03 a	9,00 \pm 5,20 b	7,33 \pm 2,52 b	0,0026*	5-50
C %	4,56 \pm 0,33 b	7,87 \pm 2,34 a	6,84 \pm 1,45 ab	0,1055*	
N %	0,47 \pm 0,05 b	0,78 \pm 0,17 a	0,62 \pm 0,06 ab	0,0310*	
C/N	9,77 \pm 1,01 a	10,00 \pm 1,49 a	10,93 \pm 1,86 a	0,6236	10-12

† Fuente: Bertsch (1998), valores menores a los indicados se consideran críticos

* Indica diferencias estadísticamente significativas detectadas con la técnica de Modelos Lineales Mixtos y Generales ($P < 0,05$)

Letras diferentes en filas indican diferencias estadísticamente significativas entre pastos (Prueba LSD Fisher, $P < 0,05$).

Tal y como menciona Cerdas (2008), la textura afecta las variables físicas, químicas e indirectamente las biológicas del suelo, lo cual podría estar sucediendo en el caso del pasto Marandú, donde diferencias en la textura pueden influir en otras características químicas del suelo bajo su influencia. Además, se ha evidenciado (y es comprensible por la mayor superficie específica debido a las arcillas) que suelos con textura arcillosa retienen mayor cantidad de minerales y agua en comparación con suelos de textura arenosa, que se caracterizan por mayor percolación y lixiviación de nutrientes (Garbanzo, 2018).

Es importante mencionar que algunas de las características químicas que variaron significativamente, presentaron valores por debajo del ámbito óptimo establecido por Bertsch (1998), entre ellas la acidez, Mg, CICE, y Zn.

La concentración de Mg de un suelo puede ser baja en suelos con pH ácido, como son los suelos de la microcuenca del río Peñas Blancas (Bertsch, 1998; Piedrahíta, 2009). Por otro lado, la precipitación característica de muchas regiones tropicales causa la lixiviación o remoción de nutrimentos como Mg, principalmente en suelos con textura arenosa (Meléndez y Molina, 2001). Lo anterior contribuye a explicar diferencias en las concentraciones de Mg en el suelo sembrado con pasto Marandú.

Respecto al Zn, ha sido evidenciado que los suelos Inceptisoles (suelos ácidos y lixiviados) son deficientes de este elemento (Bertsch, 1998; Meléndez y Molina, 2001). Por otro lado, estudios sobre lixiviación de metales han demostrado que, en suelos con texturas arenosas, los minerales más susceptibles a lixiviarse son Zn, Cd y Mn, por el contrario, suelos francos contienen mayores concentraciones de dichos elementos (Gómez, *et al.*, 2001).

Las concentraciones de otros elementos como K y Ca no presentaron diferencias en suelos sembrados con los tres pastos, pero los valores de dichos elementos en suelos sembrados con los pastos Ratana y Xaraés, estuvieron por debajo del ámbito óptimo. Lo anterior puede explicarse con base en lo establecido por Bertsch (1998) y Piedrahíta (2009), quienes mencionan que, en suelos ácidos y con baja

CICE, es común encontrar deficiencias o niveles bajos de elementos como Ca y K. Por otro lado, se ha determinado que minerales como Ca y K son susceptibles de lixiviarse a causa de la precipitación característica de las regiones tropicales, principalmente en suelos con textura arenosa (Meléndez y Molina, 2001). Lo anterior puede ser crítico en suelos destinados a la ganadería, ya que se ha determinado que en estos suelos existe una tendencia creciente a la disminución de las concentraciones de K y baja fertilidad general (García, *et al.*, 2014).

Los valores de %C y %N del suelo del pasto Marandú, fueron menores a los valores de los suelos de Ratana y Xaraés. Las diferencias estadísticas encontradas (Cuadro 8), pueden explicarse con base en aspectos y diferencias texturales, ya que se ha señalado que los suelos franco-arenosos, al tener mayor aireación, promueven la mineralización del N debido a procesos biológicos, poniendo de esta manera a disposición de los cultivos una mayor cantidad de N para su nutrición (Lacasta, *et al.*, 2006). Sin embargo, los valores de %N en los suelos de los tres pastos presentaron concentraciones adecuadas de N (Bertsch, 1998), probablemente debido a que más del 80% del N, P y K que consume el ganado en forma de pasto, vuelve al suelo a través de las deyecciones de los animales (Zanoletti, 2016), lo cual es favorable para el mantenimiento de los pastos y el mejoramiento de las propiedades físico-químicas (contenido de materia orgánica) que influyen en la protección del suelo contra la erosión hídrica. Este último elemento, el P, si presentó niveles disponibles muy críticos debido a que ni siquiera se pudo medir en laboratorio, lo cual indica una seria limitante para el desarrollo radicular especialmente del pasto en estos suelos. Como medida inmediata de recomendación es agregar este nutrimento al suelo mediante fertilizante lo más pronto posible.

Los valores de la relación C/N estuvieron dentro del rango normal, según Fuentes y Gonzales (2007) y Soto, *et al.* (2016) quienes mencionan que esta relación, en condiciones de suelo normal tiene un valor de entre 10 y 20. Suelos con alto contenido de materia orgánica, naturalmente, tienen un alto contenido de N. Aunque el valor C/N para el suelo con Marandú (Cuadro 8), estuvo ligeramente por

debajo del rango, Ottos (2015) menciona que “Una relación C/N entre 8 y 12 indica un equilibrio entre mineralización y humificación con fertilidad elevada”. Dichos valores de la relación C/N, favorecen la proliferación de microorganismos descomponedores, lo que estimula la mineralización de materia orgánica (Garrama, *et al.*, 2017), influyendo fuertemente en propiedades edáficas como la estructura, la compactación y disminución de la erosión (Barattini y Hepp, 2019).

Las características biológicas de los suelos asociadas a cada uno de los pastos no presentaron diferencias estadísticamente significativas (Cuadro 9).

Cuadro 9. Valores promedio (\pm DE) de las características biológicas de los suelos sembrados con los tres pastos evaluados en la parte alta de la cuenca del río Peñas Blancas.

Características	Marandú	Ratana	Xaraés	Valor P
Tasa de respiración (mg C-CO ₂ /g día)	0,22 \pm 0,02 a	0,23 \pm 0,16 a	0,15 \pm 0,13 a	0,6807
Biomasa microbiana (mg/Kg suelo)	298 \pm 124 a	538 \pm 109 a	558 \pm 161 a	0,0828
Actinomicetos UFC/g suelo	4,40 \pm 2,78 a	1,73 \pm 0,40 a	2,57 \pm 2,45 a	0,2963

En general, los resultados encontrados para las características biológicas del suelo coinciden o están cerca de lo informado en estudios previamente realizados en suelos agrícolas, y en especial para pastos, tanto para número de actinomicetos (10^6 - 10^7 UFC/g) (Zanoletti, 2016; Uribe, 2020); tasa de respiración (0,17 - 0,24 mg C-CO₂/g día) (Marín, 2017); y biomasa microbiana (225,32 - 228,76 mg/Kg suelo) (Torres, 1995).

La microbiología del suelo cumple una serie de roles, entre ellos el traslado de nutrientes inorgánicos y orgánicos, que producen exopolímeros, proceden a la invasión biomecánica de sustratos sólidos (Zerbino y Altier, 2006). A la vez afecta características del suelo como la estructura física, agregan partículas que mejoran la aireación, penetran poros y fisuras de rocas y minerales, intervienen en la retención y la migración de agua, disminuyen con ello, la erosión y ayudan a evitar la compactación excesiva (Barattini y Hepp, 2019).

Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- No se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$) en la producción de pérdida de sedimentos al comparar entre parcelas de escorrentía sembradas con los tres pastos, donde afectó la alta variabilidad (dispersión) de los datos obtenidos comúnmente en mediciones de baja magnitud.
- El pasto Xaraés para esta investigación, tuvo la menor pérdida de sedimentos en el periodo evaluado con $4,5 \text{ g/m}^2$, en comparación a $7,0 \text{ g/m}^2$ en el caso de Marandú y $8,3 \text{ g/m}^2$ para Ratana. Aunque las diferencias no fueron significativas, se observó una tendencia aún más marcada al modelarlo con una función exponencial previamente usada en estudios de erosión. En todos los casos, de acuerdo con los parámetros de la FAO, la categoría de erosión siempre fue baja ($<1 \text{ ton/ha/año}$).
- El pasto Xaraés fue la pastura con menor pérdida de sedimentos respecto al Marandú y al Ratana, lo cual pudo estar relacionado con las características morfológicas de las especies, ya que esto afecta tanto el golpe directo de las gotas de lluvia en el suelo, como la retención de pérdida de sedimentos. Además, la recuperación del pasto Xaraés es más rápida en comparación con los otros dos pastos, lo que ayuda a cubrir rápidamente el suelo.
- Las diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$) encontradas entre los grupos establecidos según los registros de precipitación acumulada para cada visita se debieron al hecho de que el ganado en algunas ocasiones pastoreó y pisoteó cerca del borde del geotextil, generando una mayor cantidad de sedimento para algunas parcelas.
- Según el IMF y Factor R; los eventos de lluvia de la zona de estudio se pueden considerar como precipitaciones de muy bajo impacto (o erosividad) en el fenómeno de erosión hídrica.

- La textura, es la característica de suelo más importante en la interacción suelo-pasto-pérdida de sedimento, lo cual pudo haber influido en los resultados para el pasto Marandú, en el cual se obtuvo mayor pérdida de sedimento al igual que el Ratana.
- En áreas con pendiente, el tipo de pasto a establecer puede jugar un papel importante, ayudando a mantener las condiciones físicas, químicas, biológicas e hidrológicas. Pudiendo considerarse como otra de las prácticas para la conservación del suelo. Con ello contribuir a la sostenibilidad de los sistemas agrícolas.

Recomendaciones

- Se recomienda continuar con estudios de erosión al menos durante un periodo que comprenda tres años y con un mayor número de réplicas de parcelas de escorrentía, con la finalidad de disminuir los problemas de variabilidad de datos, que es común en este tipo de estudios. Además, considerar la variabilidad que se puede presentar de un año a otro en cuanto a precipitaciones en el contexto del fenómeno del Niño o de la Niña. Una mayor cantidad de datos permitiría comprender con mayor precisión la interacción entre la pérdida de sedimentos, el pisoteo y la energía de la lluvia para definir una tasa de pérdida de sedimentos media más confiable en la parte alta de la cuenca de acuerdo con el pasto utilizado.
- Realizar investigaciones con estos pastos y otros cultivares de pastos mejorados, ya que presentan variaciones en características morfológicas como ancho y largo de la hoja. A la vez presentan diferentes respuestas a condiciones ambientales o de manejo como: recuperación bajo pastoreo, tolerancia a sequía o humedad, resistencia a enfermedades o plagas que son condicionantes que influyen en el proceso de erosión y pérdida de sedimentos.
- Tomar en consideración al realizar investigaciones de erosión en pastos, la textura del suelo de los sitios donde se establecen las parcelas de escorrentía. Esto permitirá realizar evaluaciones de los

pastos en condiciones de suelo similares, que no afecten procesos de infiltración-escorrentía, de suma importancia en este tipo de investigación. O, por otro lado, considerar diferencias texturales en el suelo en el diseño experimental para considerar este factor.

➤ Dentro de los criterios de selección de los sitios para establecer las parcelas de escorrentía, debe considerarse que se encuentren en la misma orientación respecto a la tendencia del ingreso de las lluvias y que no se encuentren formaciones geológicas entre los sitios, que puedan afectar el recorrido de la precipitación y con ello, la intensidad con que la lluvia cae al suelo. Esto afectaría la variabilidad espacial del fenómeno de erosión en las parcelas establecidas.

➤ Concienciar a los propietarios de las fincas de la importancia de colaborar en la realización de investigaciones. Esto con la finalidad de poder contar con datos más precisos para comprender mejor la interacción entre lluvias, pastos, suelo y pisoteo animal en pro de una actividad ganadera que promueva la protección del suelo.

Bibliografía

- Acuña Chinchilla, S. R. (2010). Potencial de erosión en la micro parte alta de la cuenca-baja del río Santa Rosa, centro de generación arcosa, Tilarán, Guanacaste (Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica).
- Aguilar Álvarez, R. E. (2010). Evaluación de la producción potencial de erosión en la micro parte alta de la cuenca-alta del río Santa Rosa, Tilarán, Guanacaste. (Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica).
- Alvarado Batres, C. y Barahona Palomo, M. (2016). Comparación de tres métodos de infiltración para calcular el balance hídrico del suelo, en la Cuenca del río Suquiapa, El Salvador. Cuadernos de Investigación UNED, 9(1): 23-33.
<https://www.scielo.sa.cr/pdf/cinn/v9n1/1659-4266-cinn-9-01-00023.pdf>
- Argel, P. J., Hidalgo Ardón, C. y Lobo di Palma, M. V. (2000). Pasto Toledo (*Brachiaria brizantha* CIAT 26110): Gramínea de crecimiento vigoroso con amplio rango de adaptación a condiciones de trópico húmedo y subhúmedo. (Archivo pdf).
http://ciatlibrary.ciat.cgiar.org/Forrajes_Tropicales/Released/Materiales/Cartilla_Brachiaria_brizantha_Cv_Toledo_CRI_2000.pdf
- Arias Jimenez, A. (2001). Suelos Tropicales. EUNED. Universidad Estatal a Distancia.
- Arnés E., Antonio J., del Val E., Astier M. (2013). Sustainability and climate variability in low-input peasant maize systems in the central Mexican highlands. *Agriculture, ecosystems and environment* 181, 195-205.
- Avilés Silva, E. (2016). Efectos de los sistemas de cultivo-arboles-pastos sobre la erosión laminar y la calidad de suelo en la micro cuenca Tecomapa, municipio de Somotillo-Nicaragua. (Tesis maestría en Ciencias en Manejo y Conservación de Recursos Naturales Renovables). Universidad Nacional Agraria.

Barattini, P. y Hepp, C. (2019). Mineralización de materia orgánica en suelos de la Patagonia. Informativo N°41. Instituto De Investigaciones Agropecuarias. (Archivo pdf).

<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/4989/NR41843.pdf?sequence=1>

Bautista Cruz, A., Etchevers Barra, J., del Castillo, R. F. y Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. Revista ecosistemas, 13(2), 90-97.

<https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/572>

Bertsch, F. (1998). La fertilidad de los suelos y su manejo. San José, Costa Rica.

Bertsch, F. (2019). Metodología para determinación variables químicas de suelo (consulta). San José, Costa Rica. Centro de Investigación Agronómica, UCR. (Correo: floria.bertsch@ucr.ac.cr).

Besteiro, S. y Delgado, M. (2011). Evaluación de la agresividad de las precipitaciones en la cuenca del Arroyo El Pescado, provincia de Buenos Aires (Argentina). Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata, 110(2), 82-90.

Blanco-Canqui H., Francis A. (2016). Building resilient soils through agroecosystem redesign under fluctuating climatic regimes. Journal of soil and water conservation 71 (6), 127-133.

<https://www.jswconline.org/content/71/6/127A.short>

Blum H., Warkentin, B. y Frossard E. (2006). Soil, human society and environment. Geological Society London Special Publications 266(1), 1-8.

Brea, J. y Balocchi, F. (2010). Procesos de erosión– sedimentación en cauces y cuencas. Volumen 1.

Programa Hidrológico Internacional para América Latina y el Caribe. UNESCO. Montevideo, Uruguay.

<https://www.unesdoc.unesco.org/images/0021/002163/216338s.pdf>

Caba Olguín, J. (2019). Índices de agresividad climática como estimadores del factor de riesgo de la Erosión hídrica en el departamento de Tarija. AGROCIENCIAS, 4(7), 1-10.

<https://dicyt.uajms.edu.bo/revistas/index.php/agrociencias/article/view/223>

Pezo Quevedo, D. A. (2018). Los pastos mejorados: Su rol, usos y contribuciones a los sistemas ganaderos frente al cambio climático. CATIE, Turrialba (Costa Rica).

Cerdas Bustillos, R. (2008). Calidad de suelos en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao*), banano (Musa AAA) y plátano (Musa AAB) en el valle de Talamanca, Costa Rica. (Tesis de maestría, CATIE).

Chocano Vaño, C., Sánchez Fuster, C. y López Bermúdez, F. (2007). La Agroecología como alternativa a La prevención y lucha contra la desertificación en la región de Murcia: La Comarca del noroeste. *Agroecología* 2, 75-84.

Cloter Avalos, H. y Cuevas Fernández, M. (2017). Estrategias de conservación de suelos en agroecosistemas de México. Primera edición. Fundación Gonzalo Río Arronte. Los Alpes, México.

Di Rienzo J.A.; Casanoves F.; Balzarini M.G.; González L.; Tablada M.; Robledo C.W. (2018). Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

<http://www.infostat.com.ar>

Durang, W., Uribe, L., Henríquez, C., y Mata, R. (2015). Respiración, biomasa microbiana y actividad fosfatasa del suelo en dos agroecosistemas y un bosque en Turrialba, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 39(1), 37-46.

Echeverri Tafur, L. y Obando Montoya, F. (2010). Erosividad de las lluvias en la región centro-sur del Departamento de Caldas, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía* 63(1), 5307-5318.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2015). Los suelos ayudan a combatir y adaptarse al cambio climático; Los suelos juegan un papel clave en el ciclo del carbono. (Archivo pdf).

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2 octubre de 2019).

Propiedades físicas del suelo.

<http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>

Suttie, J. (2003). Conservación de heno y paja para pequeños productores y en condiciones pastoriles.

Producción y protección vegetal N° 29. FAO.

<http://www.fao.org/3/x7660s/x7660s00.htm#Contents>

Fuentes Masis, W. y González Rodríguez, O. (2007). Estimación de la mineralización neta de nitrógeno del suelo en sistemas agroforestales y a pleno sol en el cultivo del café (*Coffea arabica* L.) en el Pacífico de Nicaragua, departamento de Carazo (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Agraria).

<https://repositorio.una.edu.ni/2039/>

Funes, F., Hernández A., Bello, R. y Álvarez, A. (2008). Fertilidad del suelo a largo plazo en sistemas biointensivos. LEISA Revista de Agroecología; suelos vivos. 24 (2).

<http://www.leisa-al.org/web/index.php/volumen-24-numero-2/1866-fertilidad-del-suelo-a-largo-plazo-en-sistemas-biointensivos>

Gamarra Lescano, C., Díaz Lezcano, M., Vera de Ortíz, M., Galeano, M. y Cabrera Cardús, A. (2018).

Relación carbono-nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco paraguayo. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 9(46), 4-26.

Garbanzo León, J. 2018. Propiedades físicas del suelo textura y estructura. Centro de Investigación Agronómica, UCR. (Archivo pdf).

<http://agro.ucr.ac.cr/cabalceta/af0208/2018/TexturasyEstruturadesuelos.pdf>

García Carrasco, M., Díaz Pita, A. y Valdés Sáenz, M. (2014). El mejoramiento de los suelos: una experiencia desde la agroecología en la Cooperativa de Producción Agropecuaria "Celso Maragoto Lara". Revista Avances 16(4), 317-328.

<https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/416648>

García-Hernández, M., Castellanos-Vargas, I., Cano Santana, Z. y Peláez-Rocha, C. (2008). Variación de la velocidad de infiltración media en seis ecosistemas inalterados. Terra Latinoamericana, 26(1), 21-27.

<http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v26n1/v26n1a3.pdf>

- Geissert, D., Mólgora, A., Negrete, S. y Hunter, R. (2017). Efecto del manejo de la cobertura vegetal sobre la erosión hídrica en cafetales de sombra. *Agrociencia*, 51(2), 119-133.
- Gómez Poveda, J. (2010). Determinación de las cantidades de suelo removido por efecto de erosión hídrica de tres unidades de capacidad de uso del suelo en el cultivo de papa, en la microcuenca Plantón-Pacayas; Cartago (Tesis de Licenciatura, Instituto Tecnológico de Costa Rica).
- Gómez Polo, M., García-Baquero, E. y Cervera Giráldez, J. (2001). Lixiviación De Metales Desde Puntos Con Contaminación Residual En La Cuenca Del Guadiamar. *Temas de Investigación en Zona no Saturada*. Eds. JJ López, M. Quemada. Dpto. Agronomía, ETSIAM Universidad de Córdoba. España.
- Gómez, Y. y Paolini, J. (2010). Variación en la actividad microbiana por cambio de uso en suelos en sabanas, Llanos Orientales, Venezuela. *Revista Biología Tropical*, 59 (1), 1-15.
- González Hernández, G., Zúñiga Mora, J., Escribano Montoya, J., Herrera Martínez, E., Madrigal Mora, A., Villalobos Soto, H., Arguello Villalobos, L., Garita Meneses, A. y Jaubert Vincenzi, A. (2008). Diagnóstico socio-ambiental cuenca río Peñas Blancas. Centro Gestión Ambiental, Unidad De Manejo Cuenca. Instituto Costarricense De Electricidad.
- Goñas Golac, N. (2017). Pérdida de Suelo por Erosión Hídrica en dos Sistemas de Producción de Pastos en el Distrito de Pomacochas- Bongará, Región Amazonas (Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Toribio Rodríguez De Mendoza De Amazonas).
- Guere Salazar, F. (2010). Efecto de la fertilización orgánica en el establecimiento del Pasto *Brachiaria brizantha* cv Marandú En Supte San Jorge - Tingo María (Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Agraria De La Selva).
- Guiot, C. y Meléndez, E. (2003). Raifall erosion in the tropic: A state of S.A.El-Swaify et. al., (ed). *Soil Erosion and Conservation in the tropic*. American Society of Agronomy Spec.
- Gunther Vahrso, W. (1990). El potencial erosivo de la lluvia en costa rica. *Agronomía Costarricense* 14(1), 15-24.

- Hernández Jimenez, A., Bojórquez Serrano, J., Morell Planes, F., Cabrera Rodríguez, A., Ascanio García, M., García Paredes, J. y Madueño Molina, A. (2010). Fundamentos de la estructura de los suelos tropicales. Universidad Autónoma de Nayarit- Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. México.
- ICE (Instituto Costarricense de Electricidad). (2011). Unidad de Cuenca Rio Peñas Blancas (UCPEÑAS: Plan de Gestión).
- Iglesias, M. (2008). Estudio del carbono de la biomasa microbiana en suelos alterados. Revista LAZAROA 29, 117-123.
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional). (2008). El Clima, su variabilidad y cambio climático en Costa Rica.
- Jiménez, L. (2018). Comunicación personal. Dueño, Finca de producción de leche y carne. San Ramón, Alajuela. Comunicación personal 14-05-2018. Telf.: 8332-6035.
- Kirk, J., Beaudette, L., Hart, M., Moutoglis, P., Klironomos, J., Lee, H. y Trevors, J. (2004). Methods of studying soil microbial diversity. *Journal of Microbiological Methods* 58 (2), 169-188.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167701204000983>
- Lacasta, C., Benítez, M., Maire, N. y Meco, R. (2006). Efecto de la textura del suelo sobre diferentes parámetros bioquímicos. In VII Congreso SEAE: Agricultura y Alimentación Ecológica. Xaraés, España.
- Lascano, C., Pérez, R., Plazas C., Medrano, J., Pérez, O. y Argel, P. (2002). Cultivar Xaraés-*Brachiaria brizantha* (Accesión CIAT 26110): Gramínea de crecimiento vigoroso para intensificar la ganadería colombiana. Corporación Colombiana de Investigaciones Agropecuarias. Cali, Colombia.
- Lince Salazar, A. y Castro Quintero, A. (2015). Erosividad de la lluvia en la región cafetera de Quindío, Colombia. *Revista Cenicafé* 66(1), 25-31.
- Lok, S. (2010). Indicadores de sostenibilidad para el estudio de pastizales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 44(4), 333-344.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). (2010). Guía técnica para la difusión de tecnologías de producción agropecuaria sostenible. 1 edición. San José, Costa Rica.

- Mamani Quispe, I. (2019). Correlación de la composición química de los pastos y pastizales con la composición físico-químico de los suelos en las comunidades campesinas de Colca y Lauramarca del distrito de Ocongate–Quispicanchi–Cusco (Tesis de bachillerato, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco).
- Marchámalo, M. (2004). Ordenación del territorio p ara la producción de servicios ambientales hídricos. Aplicación a la cuenca del río Birrís (Costa Rica) (Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid).
- Marín Romero, R. (2017). Diagnóstico de la Densidad aparente en relación con otras propiedades físicas del suelo en tres sistemas productivos y bosque nativo, en terrazas altas del piedemonte llanero (Tesis de licenciatura Universidad Nacional Abierta y a Distancia⁹).
- Martínez Viloría, F. (2019). Ficha Técnica Pasto Marandú (*Brachiaria brizantha* cv. Marandú). (Archivo pdf).
<https://infopastosyforrajes.com/pasto-de-pastoreo/pasto-piata/>
- Masis Solano, J. (2018). 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 (Tesis de licenciatura, Instituto Tecnológico de Costa Rica).
- Mata, R. (2012). Principales grupos de suelos dedicados a la producción de forrajes en Costa Rica. CIA, UCR.
- Meléndez, G. y Molina, E. (Agosto del 2001). Memoria; Fertilidad de Suelos y Manejo de la Nutrición de Cultivos en Costa Rica. CIA (Centro de Investigaciones Agronómicas). San José, Costa Rica.
- Meléndez, G. y Soto, G.(3 y 4 de marzo del 2003). Taller de abonos orgánicos. CATIE, GTZ, CIA y la Cámara de Insumos Agropecuarios No Sintéticos.
- Mehuys, G., Tiessen, K., Villatoro, M., Sancho, F. y Lobb, D. (2010). Erosión por labranza con arado de disco en suelos volcánicos de ladera en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 33(2), 205-215.

- Metropolitan Council & Barr Engineering Co. (7 de noviembre del 2015). Silt Fence. Minnesota, Estados Unidos. <http://www.ci.northfield.mn.us/DocumentCenter/View/38>
- Molina Campos, E. (2014). Determinación y cuantificación de la tasa de erosión laminar en cafetales ubicados en la cuenca del río Jesús María (Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica).
- Morgan, C. (2005). Soil erosion and conservation. Third Edition. National Soil Resources Institute, Cranfield University.
- Nearing, M., Govers, G. y Norton, L. (1999). Variability in soil erosion data from replicated plots. Soil science society of America Journal, 63(6), 1829-1835.
- Olea, L., Paredes, J. y Verdasco, P. (2011). Características productivas de los pastos de La Dehesa Del S. O. De La Península Ibérica. Pastos, 147-172.
- Ottos Díaz, E. (2015). Relación entre el contenido de materia orgánica y nitrógeno total de los suelos de la provincia de Leoncio Prado (Tesis de Bachillerato ,Universidad Nacional Agraria De La Selva).
- Peters, M., Franco, T., Schmidt, A. y Hincapié, B. (2002). Especies forrajeras multipropósito: Opciones para productores de Centroamérica. CIAT- GTZ.
- Pérez, J. y Mesa, Ó. (2004). Estimación del factor de erosividad de la lluvia en Colombia. https://www.researchgate.net/publication/216513501_Estimacion_del_factor_de_erosividad_de_la_lluvia_en_Colombia
- Peters, M., Franco, T., Schmidt, A. y Hincapié, B. (2011). Especies forrajeras multipropósito: Opciones para productores del Trópico Americano. CIAT- GTZ.
- Piedrahíta, O. (2009). Acidez del suelo. Magnesio Heliconia SA, 14, 30.
- Prado Segura, R. y Aguilar Pereira, F. (2007). Manual de instalación de barreras con geotextil "Silt Fence" para la medición de la erosión en parcelas experimentales. Documento técnico No. 4 Área Suelo y Aguas. (Archivo pdf).

<http://www.platicar.go.cr/images/buscador/documents/pdf/09/00399-manualdeinstalaciondesiltfence.pdf>

Prieto Méndez, J., Prieto-García, F., Acevedo-Sandoval, O. y Méndez Marzo, M. (2013). Indicadores e índices de calidad de los suelos (ics) Cebaderos del sur del estado de Hidalgo, México. *Agronomía Mesoamericana* 24(1),83-91.

<https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v24n1/a08v24n1.pdf>

Pulleman, M., Hellin, J., Flores, V. y López, W. (2008). Calidad del suelo y rentabilidad de la finca: Una situación en la que todos ganan. *LEISA, Revista de Agroecología*. 35, 13-16.

<http://leisa-al.org/web/index.php/volumen-24-numero-2/1867-calidad-del-suelo-y-rentabilidad-de-la-finca-una-situacion-en-la-que-todos-ganan>

Ramírez Ortiz, F., Hincapié-Gómez, E., Sadeghian-Khalajabadi, S. y Pérez-Gómez, U. (2007). Erosividad de las lluvias en la zona cafetera central y occidental del departamento de Caldas. *Cenicafé*, 58(1),40-52.

<https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/158/1/arc058%2801%29040-052.pdf>

Ríos, N., Cárdenas, A., Andrade, H., Sancho, F., Ibrahim, M., Jiménez, F., Ramírez, E., Reyes, B. y Woo, A. (2006). Escorrentía superficial e infiltración en sistemas ganaderos convencionales y silvopastoriles en el trópico subhúmedo de Nicaragua y Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* N°45.

Ríos, N., Ibrahim, M. y Faustino, J. (2013). Uso del modelo SWAT para estimar la producción de sedimentos en una cuenca dominada por Ganadería.

<http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/7816>

Rivera Gutiérrez, O. y Sang Palacio, W. (2013). Eficiencia de uso de diferentes sectores de pastos bajo diferentes condiciones de pendientes por el ganado vacuno, en el municipio de Waslala, 2010-2011 (Doctoral disertación, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua).

Rivera, J. y Gómez, A. (1991). Erosividad de las lluvias en la zona cafetera central colombiana (Caldas, Quindío y Risaralda). *Cenicafe*, 42(2), 37–52.

Rodríguez Salas, C. (2011). Renovación de pastos degradados de *Arachis pintoi* por medio de siembra asociada de *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés (Tesis de Bachillerato, Instituto Tecnológico de Costa Rica).

<https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/3961>

Salas, C.; Ríos, N.; Ibrahim, M. y Sepulveda, C. (2013). Valoración económica preliminar de la erosión hídrica en sistemas ganaderos de la parte alta de la cuenca alta del Río Reventazón, Costa Rica. (Archivo pdf).

https://www.academia.edu/7961482/ISSN_2238_457X_Valoraci%C3%B3n_econ%C3%B3mica_preliminar_de_la_erosi%C3%B3n_h%C3%ADdrica_en_sistemas_ganaderos_de_la_cuenca

Sancho, F. y Villatoro, M. (2006). Efecto de la posición de la pendiente sobre la productividad de tres secuencias de suelos en ambientes rústicos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 29(3), 159-174.

<https://www.redalyc.org/pdf/436/43626961020.pdf>

Sanclemente, E. (2011). Curso Propiedades y contaminación del suelo. (U. N. Distancia, Ed.) Obtenido de Lección 8. Humedad, infiltración, permeabilidad, consistencia y profundidad efectiva del suelo:

http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358013/ContenidoEnLinea/leccin_8_humedad_infiltracin_permeabilidad_consistencia_y_profundidad_efectiva_del_suelo.html.

Solano, J. y Villalobos, R. (2000). Regiones y subregiones climáticas de Costa Rica. San José, Costa Rica: Instituto Meteorológico Nacional. (Archivo pdf).

http://files.hidrico.webnode.es/200000078-47c7448c16/Reg_climaCR.pdf

Soto Mora, E., Hernández Vázquez, M., Luna Zendejas, H., Ortiz, E. y García Gallegos, E. (2016). Evaluación del contenido de materia orgánica en suelos agrícolas y su relación carbono/nitrógeno. *Revista Iberoamericana de Ciencias*.

<http://www.reibci.org/publicados/2016/oct/1800105.pdf>

Tapia, L., Tiscareño, M., Salinas, J., Velázquez, M., Vega, A. y Guillén, H. (2002). Respuesta de la cobertura residual del suelo a la erosión hídrica y la sostenibilidad del suelo, en laderas agrícolas. *Terra Latinoamérica*, 20:(4), 449-457.

<https://www.redalyc.org/pdf/573/57320409.pdf>

Tiessen, K., Sancho, F., Lobb, D. y Mehuys, G. (2010). Assessment of tillage translocation and erosion by the disk plow on steep land Andisols in Costa Rica. *Journal of Soil and Water conservation*, 65(5), 316-328.

<https://www.jswnonline.org/content/65/5/316.short>

Torres Munévar, M. (1995). Características físicas, químicas y biológicas en suelos bajo pastos de *Brachiaria brizantha* sola y en asociación con *Arachis pintoi*, después de cuatro años de pastoreo en el trópico húmedo de Costa Rica (tesis de maestría, CATIE).

Universidad de Sevilla. (2008). Ingeniería Agroforestal: Curso Hidráulica y riegos. Obtenido de *Aspersores y distribución del agua sobre el suelo*:

http://ocwus.us.es/ingenieriaagroforestal/hidraulicayriegos/temario/Tema%209.%20Riego%20por%20asersion/page_06.htm/skinless_view

Uribe, L. (2019). Metodología para determinación de variables microbiológicas de suelo (consulta). San José, Costa Rica. Centro de Investigación Agronómica, UCR. (correo: lidieth.uribe@ucr.ac.cr).

Uribe, L. (2020). Parámetros microbiológicos del suelo (Consulta). San José, Costa Rica. Centro de Investigación Agronómica, UCR. (correo: lidieth.uribe@ucr.ac.cr).

USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) y NRCS (Servicio de Conservación de Recursos Naturales). (2010). Claves para la Taxonomía de Suelos. (Archivo pdf).

https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/16/nrcs143_018664.pdf

- Vega Carreño, M. y Febles Gonzáles, J. (2006). Evaluación de la erosividad de la lluvia en regiones agropecuarias en la porción central de la provincia La Habana. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 40(2), 215-220.
- <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193017714012.pdf>
- Vega Carreño, M. y Febles Gonzáles, J. (14-16 de julio del 2008). Dinámica de la erosión de los suelos en áreas rurales de La Habana, Cuba como contribución al desarrollo rural sostenible, I Seminario Internacional de Cooperación y Desarrollo en Espacios Rurales Iberoamericanos, Sostenibilidad e Indicadores, Almería, España. (Archivo pdf).
- <http://www.indirural.ual.es/descargas/docDescargas/II3-2.pdf>
- Villalobos, L. y Longhi, M. (2015). Características taxonómicas de pastos *Brachiaria* utilizados en Costa Rica. *Nutrición Animal Tropical* 9(1), 39-56.
- <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/nutrianimal/article/view/19391>
- Villalobos Mora, E. (2010). Respuesta del Pasto Ratana (*Ischaemum Indicum*) a la fertilización nitrogenada y edad de rebrote (Tesis de Licenciatura, Instituto Tecnológico de Costa Rica).
- <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/3960>
- Villareal, M. (2010). Respuesta del pasto Ratana (*Ischaemun indicum*) a la fertilización nitrogenada. MAG-ITCR-MAG-CORFOGA. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Villatoro, M. (2018). Establecimiento de parcelas (consulta). San José, Costa Rica. Centro de Investigación Agronómica, UCR. (correo: mario.villatoro@ucr.ac.cr)
- Zabalza, M. y Cano, C. (1989). Recopilación de términos sobre pastizales naturales y su manejo. *Revista Faculta de Agronomía* 4 (1).
- <http://www.biblioteca.unlpam.edu.ar/pubpdf/rev-agro/v04n1a10zabalza.pdf>
- Zamora, E. 2018. Comunicación personal. Dueño, Finca de producción de leche. San Ramón, Alajuela.
- Comunicación personal 14-05-2018. Telf. 8430-4079.

Zanoletti Martínez, L. (2016). Evaluación de las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo

destinado a la ganadería vacuna, con cultivo de *Pennisetum purpureum* cv Cuba CT-115 (Tesis de Bachillerato, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas).

<https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/6968/Tesis%20de%20Diploma%20Luis%20E%20Zanoletti%20Martinez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Zerbino, S. y Altier, N. (2006). La biodiversidad del suelo; Su importancia para el funcionamiento de los ecosistemas. Suplemento Tecnológico 8. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Uruguay. (Archivo pdf).

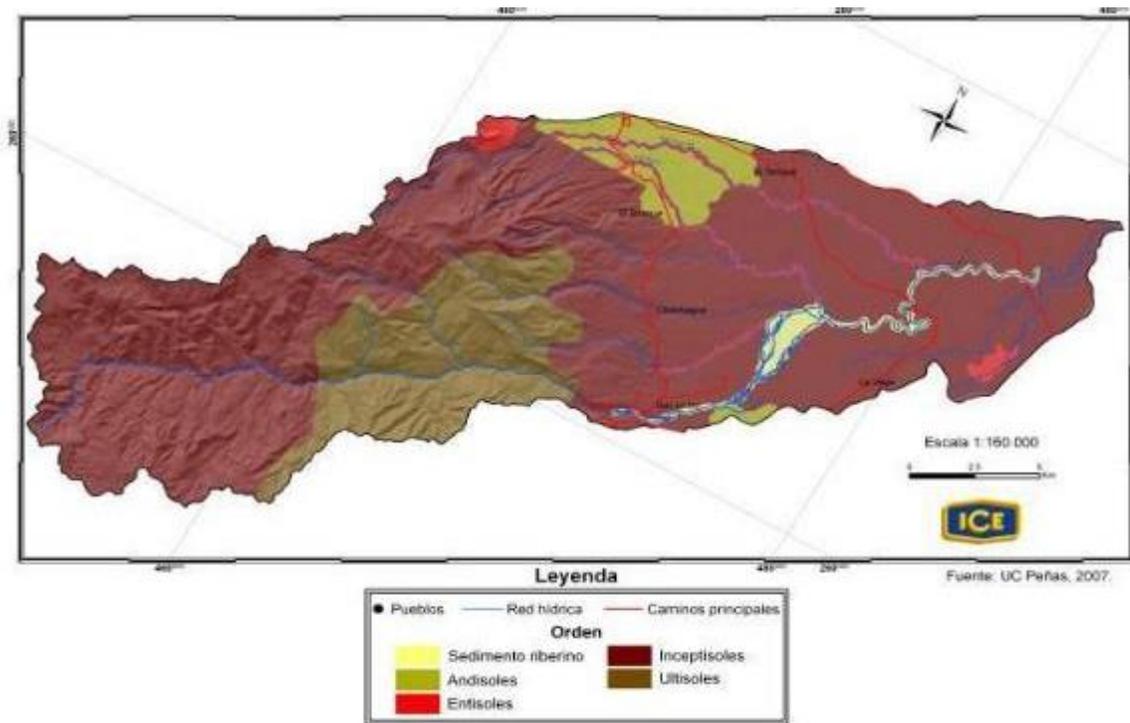
http://www.inia.org.uy/publicaciones/documentos/ara/ara_186.pdf

Anexos

Anexo 1. Imágenes de giras de campo de la investigación.



Anexo 2. Suelos cuenca del río Peñas Blancas, 2007, Costa Rica.



Anexo 3. Resultados análisis microbiológico de muestras de suelos de las parcelas de cada pastura.



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

CIA Centro de
Investigaciones
Agronómicas

ID Lab.	ID Cliente	Tasa de Respiración (mg C-CO ₂ /g día)	Biomasa (mg C/kg suelo)
MI-193-19	B-1	0,236	431
MI-194-19	B-2	0,228	277
MI-195-19	B-3	0,201	186
MI-196-19	R-1	0,067	655
MI-197-19	R-2	0,392	439
MI-198-19	R-3	0,236	520
MI-199-19	T-1	0,306	638
MI-200-19	T-2	0,080	663
MI-201-19	T-3	0,069	372

Lidieth Uribe

Dra. Lidieth Uribe Lorio
M.Q.C. cod 664
Coordinadora
Laboratorio de Microbiología Agrícola.





UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

CIA Centro de
Investigaciones
Agronómicas

Reporte de Resultados de Ensayo

Número de Solicitud: 71161 Fecha de emisión del reporte: 24/06/19
Información del Usuario:
 Nombre: MARIO VILLATORO SANCHEZ
 Subcliente: Tesis Alejandro Jiménez Herrera
 Dirección: San Carlos, Alajuela
 Contacto: Mario Villatoro
 Teléfono: 8326-6905

Resultados del ensayo

ID Lab.	ID Cliente	Actinomicetes UFC/g
MI-193-19	B-1	6,2X10 ⁶
MI-194-19	B-2	1,2X10 ⁶
MI-195-19	B-3	5,8X10 ⁵
MI-196-19	R-1	1,3X10 ⁶
MI-197-19	R-2	2,1X10 ⁷
MI-198-19	R-3	1,8X10 ⁶
MI-199-19	T-1	1,1X10 ⁶
MI-200-19	T-2	5,4X10 ⁵
MI-201-19	T-3	1,2X10 ⁶



Anexo 4. Resultados análisis físicos de muestras de suelos de las parcelas de cada pastura.



**CENTRO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS
LABORATORIO DE RECURSOS NATURALES
REPORTE DE ENSAYO**

Nº DE REPORTE: 71145
USUARIO: MARIO VILLATORO SANCHEZ
SUBCLIENTE: TESIS ALEJANDRO JIMENEZ HERRERA
RESPONSABLE: MARIO VILLATORO
CORREO: mario.villatoro@ucr.ac.cr; jimenezherrera1982@gmail.com
TELÉFONO: 8326-6905

PROVINCIA: ALAJUELA
CANTÓN: SAN CARLOS
LOCALIDAD: PEÑAS BLANCAS
CULTIVO: PASTOS

ANÁLISIS: DA_DP (Porosidad);Est
FECHA RECEPCIÓN: 03/06/2019
EMISIÓN DE REPORTE: 01/07/2019
Nº DE MUESTRAS TOTAL: 9
PÁGINA: 1/1

ANÁLISIS DE TEXTURA EN SUELOS					
ID USUARIO	ID LAB	%			Clase
		ARENA	LIMO	ARCILLA	Textural
B-1	RN-19-00804	62	16	22	FRANCO ARCILLO ARENOSO
B-2	RN-19-00805	45	28	27	FRANCO
B-3	RN-19-00806	67	21	12	FRANCO ARENOSO
R-1	RN-19-00807	85	10	5	ARENA FRANCA
R-2	RN-19-00808	87	8	5	ARENA FRANCA
R-3	RN-19-00809	80	8	12	FRANCO ARENOSO
T-1	RN-19-00810	87	6	7	ARENA FRANCA
T-2	RN-19-00811	90	5	5	ARENOSO
T-3	RN-19-00812	85	5	10	ARENA FRANCA

Ing. Agr. Rafael Mata Chinchilla M.Sc.

COORDINADOR DEL LABORATORIO DE RECURSOS NATURALES

1. Resultados expresados como porcentajes. 2. Procedimiento de textura de acuerdo al CIA-SC09-03-P02 Determinación de Textura en Suelos por el Método del Hidrómetro de Bouyoucos. 3. El muestreo es responsabilidad del usuario. 4. Los resultados se refieren únicamente a las muestras ensayadas. 5. El tiempo de custodia es de 45 días a partir del ingreso de la muestra. 6. El Reporte de Ensayo válido es el original, firmado y sellado, cuando el usuario solicita el envío del reporte por correo electrónico o fax libera al Laboratorio de resguardar la integridad y confidencialidad de sus resultados.



**CENTRO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS
LABORATORIO DE RECURSOS NATURALES
REPORTE DE ENSAYO**



N° DE REPORTE: 71145

USUARIO: MARIO VILLATORO SANCHEZ
SUBCLIENTE: TESIS ALEJANDRO JIMENEZ HERRERA
RESPONSABLE: MARIO VILLATORO
CORREO: mario.villatoro@ucr.ac.cr; jimenezherrera1982@gmail.com
TELÉFONO: 8326-6905

PROVINCIA: ALAJUELA
CANTÓN: SAN CARLOS
LOCALIDAD: PEÑAS BLANCAS
CULTIVO: PASTOS

ANÁLISIS: DA_DP (Porosidad);Est
FECHA RECEPCIÓN: 03/06/2019
EMISIÓN DE REPORTE: 01/07/2019
N° DE MUESTRAS TOTAL: 9
PÁGINA: 1/1

ANÁLISIS DE DENSIDAD POROSIDAD Y ESTABILIDAD DE AGREGADOS					
ID USUARIO	ID LAB	Densidad	Densidad	Porosidad	Estabilidad de agregados
		Aparente	Partículas		
		g cm ⁻³		%	%
B-1	RN-19-00804	0,6	2,2	73	53
B-2	RN-19-00805	0,5	2,3	78	50
B-3	RN-19-00806	0,7	1,8	61	3
R-1	RN-19-00807	0,4	2,1	81	56
R-2	RN-19-00808	0,3	2,1	86	65
R-3	RN-19-00809	0,7	2,3	70	66
T-1	RN-19-00810	0,4	2	80	52
T-2	RN-19-00811	0,4	2,1	81	14
T-3	RN-19-00812	0,8	2,4	67	81

Ing. Agr. Rafael Mata Chinchilla M.Sc.

COORDINADOR DEL LABORATORIO DE RECURSOS NATURALES

1. El muestreo es responsabilidad del usuario. 2. Los resultados se refieren únicamente a las muestras ensayadas. 3. El tiempo de custodia es de 45 días a partir del ingreso de la muestra. 4. El Reporte de Ensayo válido es el original, firmado y sellado. Cuando el usuario solicita el envío del reporte por correo electrónico o fax, libera al Laboratorio de resguardar la integridad y confidencialidad de sus resultados.

Anexo 5. Resultados análisis Químicos de muestras de suelos de las parcelas de cada pastura.



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

CIA Centro de
Investigaciones
Agronómicas

CIUDAD DE LA INVESTIGACIÓN
LABORATORIO DE SUELOS Y FOLIARES
REPORTE DE ENSAYO
RE-R01 (V2)

N° DE REPORTE: **71146**

USUARIO: MARIO VILLATORO SANCHEZ
SUBCLIENTE: TESIS ALEJANDRO JIMENEZ HERRERA
RESPONSABLE: MARIO VILLATORO
CORREO: mario.villatoro@ucr.ac.cr; jimenezherrera1982@gmail.com
TELÉFONO: 8326-6905

PROVINCIA: ALAJUELA
CANTÓN: SAN CARLOS
LOCALIDAD: PEÑAS BLANCAS
CULTIVO: PASTOS

ANÁLISIS: QC,CN
FECHA RECEPCIÓN: 03/06/2019
EMISIÓN DE REPORTE: 13/06/2019
N° DE MUESTRAS TOTAL: 9
PÁGINA: 1/2

ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS													
Solución Extractora:		pH	cmol(+)/L					%	mg/L				
KCl-Olsen Modificado		H ₂ O	ACIDEZ	Ca	Mg	K	CICE	SA	P	Zn	Cu	Fe	Mn
ID USUARIO	ID LAB	5,5	0,5	4	1	0,2	5		10	3	1	10	5
B-1	S-19-03205	5,5	0,43	2,72	1,63	0,10	4,88	9	ND	2,3	10	139	28
B-2	S-19-03206	5,2	0,63	3,05	1,66	0,07	5,41	12	ND	1,2	9	109	32
B-3	S-19-03207	5,6	0,31	6,96	2,07	0,46	9,80	3	1	1,5	5	82	22
R-1	S-19-03208	5,5	0,23	0,75	0,21	0,14	1,33	17	ND	0,8	7	56	6
R-2	S-19-03209	5,6	0,18	0,75	0,21	0,09	1,23	15	ND	0,9	6	57	6
R-3	S-19-03210	5,6	0,29	2,93	0,73	0,09	4,04	7	ND	0,7	6	97	15
T-1	S-19-03211	5,6	0,17	0,76	0,26	0,10	1,29	13	ND	1,0	6	63	7
T-2	S-19-03212	5,7	0,11	0,61	0,20	0,10	1,02	11	ND	0,6	7	65	5
T-3	S-19-03213	5,6	0,22	2,53	0,74	0,19	3,68	6	ND	0,6	5	77	10

ULTIMA LINEA

Los valores debajo de cada elemento corresponden con los Niveles Críticos generales para la solución extractora usada

CICE=Capacidad de intercambio de Cationes Efectiva=Acidez+Ca+Mg+K

SA=Porcentaje de Saturación de Acidez=(Acidez/CICE)*100

ND:NO DETECTADO

B.Q. Mariana Blanco M.
N.I. 2468
Gestoría de Calidad

Ing. Agr. Michael González A.
N.I. 7827
Gestoría Técnica

1. Las unidades están expresadas en base seca, en masa/v. 2. Procedimiento: pH y CE en agua 10:25; Acidez, Al, Ca y Mg con KCl 1M 1:10; P,K,Zn,Fe,Mn y Cu con Olsen Modificado pH 8,5 (NaHCO₃ 0,5 N, EDTA 0,01M, Superfloc 127) 1:10; S con Ca(H₂PO₄)₂·H₂O 0,008M 10:25. Acidez determinada por valoración con NaOH y Al con HCl; P y S por Colorimetría con el Analizador de Inyección de Flujo (FIA) y el resto de los elementos por Espectrofotometría de Absorción Atómica. C y N totales por combustión seca en Autoanalizador. 3. El muestreo es responsabilidad del usuario. 4. Los resultados se refieren únicamente a las muestras ensayadas. 5. El tiempo de custodia de las muestras es de 45 días a partir del ingreso de la muestra. 6. El Reporte de Ensayo con validez es el original firmado y sellado que se imprime a solicitud expresa del usuario; cuando el usuario solicita el envío del reporte por correo electrónico o fax libera al Laboratorio de resguardar la integridad y confidencialidad de sus resultados.



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

CIA Centro de
Investigaciones
Agronómicas

CIUDAD DE LA INVESTIGACIÓN
LABORATORIO DE SUELOS Y FOLIARES
REPORTE DE ENSAYO
RE-R01 (V2)

Nº DE REPORTE: 71146
USUARIO: MARIO VILLATORO SANCHEZ
SUBCLIENTE: TESIS ALEJANDRO JIMENEZ HERRERA
RESPONSABLE: MARIO VILLATORO
CORREO: mario.villatoro@ucr.ac.cr; jimenezherrera1982@gmail.com
TELÉFONO: 8326-6905

PROVINCIA: ALAJUELA
CANTÓN: SAN CARLOS
LOCALIDAD: PEÑAS BLANCAS
CULTIVO: PASTOS

ANÁLISIS: QC,CN
FECHA RECEPCIÓN: 03/06/2019
EMISIÓN DE REPORTE: 13/06/2019
Nº DE MUESTRAS TOTAL: 9
PÁGINA: 2/2

ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS					
ID USUARIO	ID LAB	mS/cm	%		Relación
		CE	C	N	C/N
		1,5			
B-1	S-19-03205	<0,1	4,94	0,48	10,3
B-2	S-19-03206	<0,1	4,37	0,42	10,4
B-3	S-19-03207	0,1	4,37	0,51	8,6
R-1	S-19-03208	0,1	10,27	0,97	10,6
R-2	S-19-03209	0,1	7,75	0,70	11,1
R-3	S-19-03210	0,1	5,59	0,67	8,3
T-1	S-19-03211	0,1	8,16	0,63	13,0
T-2	S-19-03212	0,1	7,08	0,68	10,4
T-3	S-19-03213	0,1	5,28	0,56	9,4

—ULTIMA LINEA—

OBSERVACIÓN: El % C y N totales se determinaron con el Autoanализador de C/N por combustión seca. Los valores de % C total correlacionan muy bien (R2≥0.95) con el % de MO. Si quiere estimar el valor del % MO a partir del dato de % C total determinado con esta metodología, multiplique el % C total por 1,43.

B.Q. Mariana Blanco M.
N.I. 2468

Gestoría de Calidad

Ing. Agr. Michael González A.
N.I. 7827

Gestoría Técnica

1. El muestreo es responsabilidad del usuario. 2. Los resultados se refieren únicamente a las muestras ensayadas. 3. El tiempo de custodia de las muestras es de 45 días a partir del ingreso de la muestra. 4. El Reporte de Ensayo válido es el original firmado y sellado que se imprime a solicitud expresa del usuario; cuando el usuario solicita el envío del reporte por correo electrónico o fax libera al Laboratorio de resguardar la integridad y confidencialidad de sus resultados.

Anexo 6. Segmentos de la matriz elaborada con los datos crudos de precipitación de las estaciones meteorológicas del ICE, durante el 2019.

Mes	día	Hora	Precip. (mm)	mm/h	N° evento	Maxima intensidad	mm total del evento	Minutos	Horas
abril	1	00:00							
abril	3	02:25	0,254	3,048	1				
abril	3	03:20	0,254	3,048	1				
abril	6	16:40	1,016	12,192	2	48,768	6,858	20	00:20
abril	6	16:45	4,064	48,768	2				
abril	6	16:50	1,524	18,288	2				
abril	6	16:55	0,254	3,048	2				
abril	6	18:45	0,254	3,048	3	6,096	1,778	125	02:05
abril	6	19:00	0,254	3,048	3				
abril	6	19:40	0,254	3,048	3				
abril	6	19:55	0,254	3,048	3				
abril	6	20:40	0,508	6,096	3				
abril	6	20:45	0,254	3,048	3				
abril	7	05:30	0,254	3,048	4	3,048	0,508	65	01:05
abril	7	06:30	0,254	3,048	4				
abril	7	11:00	0,254	3,048	5	3,048	0,762	80	01:20
abril	7	12:10	0,254	3,048	5				
abril	7	12:15	0,254	3,048	5				
abril	7	16:45	0,254	3,048	6	3,048	0,762	45	00:45
abril	7	17:00	0,254	3,048	6				
abril	7	17:25	0,254	3,048	6				
abril	12	18:35	0,254	3,048	7	3,048	0,508	60	01:00
abril	12	19:30	0,254	3,048	7				
abril	13	20:25	0,254	3,048	8	3,048	0,508	25	00:25
abril	13	20:45	0,254	3,048	8				
abril	14	04:20	0,254	3,048	9	3,048	0,508	15	00:15
abril	14	04:30	0,254	3,048	9				
Mayo	1	01:50	0,508	6,096	22	6,096	3,302	180	03:00
Mayo	1	02:25	0,508	6,096	22				
Mayo	1	02:30	0,508	6,096	22				
Mayo	1	02:35	0,254	3,048	22				
Mayo	1	02:45	0,254	3,048	22				
Mayo	1	03:25	0,508	6,096	22				
Mayo	1	03:40	0,254	3,048	22				
Mayo	1	04:30	0,254	3,048	22				
Mayo	1	04:45	0,254	3,048	22				
Mayo	1	06:55	0,254	3,048	23	9,144	5,588	185	03:05
Mayo	1	08:00	0,254	3,048	23				
Mayo	1	08:05	0,254	3,048	23				
Mayo	1	08:10	0,508	6,096	23				
Mayo	1	08:15	0,254	3,048	23				
Mayo	1	08:25	0,254	3,048	23				
Mayo	1	08:30	0,254	3,048	23				
Mayo	1	08:35	0,254	3,048	23				
Mayo	1	08:45	0,254	3,048	23				
Mayo	1	08:50	0,254	3,048	23				
Mayo	1	08:55	0,254	3,048	23				
Mayo	1	09:00	0,508	6,096	23				
Mayo	1	09:05	0,762	9,144	23				
Mayo	1	09:10	0,254	3,048	23				
Mayo	1	09:15	0,254	3,048	23				
Mayo	1	09:45	0,254	3,048	23				
Mayo	1	09:50	0,254	3,048	23				
Mayo	1	09:55	0,254	3,048	23				
Mayo	1	16:10	3,556	42,672	24	42,672	3,81	15	00:15
Mayo	1	16:20	0,254	3,048	24				

Junio	1	18:40	2,032	24,384	66	48,768	15,494	100	01:40
Junio	1	18:45	4,064	48,768	66				
Junio	1	18:50	1,270	15,24	66				
Junio	1	18:55	1,524	18,288	66				
Junio	1	19:00	2,286	27,432	66				
Junio	1	19:05	0,508	6,096	66				
Junio	1	19:10	1,524	18,288	66				
Junio	1	19:15	0,508	6,096	66				
Junio	1	19:20	0,508	6,096	66				
Junio	1	19:25	0,254	3,048	66				
Junio	1	19:30	0,254	3,048	66				
Junio	1	19:35	0,254	3,048	66				
Junio	1	19:40	0,254	3,048	66				
Junio	1	20:15	0,254	3,048	66				
Junio	3	15:40	0,254	3,048	67	91,44	20,066	110	01:50
Junio	3	15:45	0,254	3,048	67				
Junio	3	15:50	0,254	3,048	67				
Junio	3	15:55	0,508	6,096	67				
Junio	3	16:00	3,556	42,672	67				
Junio	3	16:05	7,620	91,44	67				
Junio	3	16:10	1,016	12,192	67				
Junio	3	16:15	0,254	3,048	67				
Junio	3	16:45	2,540	30,48	67				
Junio	3	16:50	2,032	24,384	67				
Junio	3	16:55	1,016	12,192	67				
Junio	3	17:00	0,508	6,096	67				
Junio	3	17:25	0,254	3,048	67				
Junio	4	15:40	0,254	3,048	68	30,48	7,62	205	03:25
Junio	4	15:50	0,254	3,048	68				
Mes	día	Hora	Precip. (mm)	mm/h	N° event	Maxima intensidad	mm total del evento	Minutos	Horas
Julio	27	11:10	0,254	3,048	162				
Julio	27	11:15	0,254	3,048	162				
Julio	27	12:25	0,254	3,048	162				
Agosto	2	16:10	0,762	9,144	163	9,144	0,254	50	00:50
Agosto	2	16:15	0,508	6,096	163				
Agosto	2	16:25	0,254	3,048	163				
Agosto	2	16:30	0,254	3,048	163				
Agosto	2	16:55	0,254	3,048	163				
Agosto	3	12:35	0,254	3,048	164	3,048	0,508	20	00:20
Agosto	3	12:50	0,254	3,048	164				
Agosto	3	15:15	0,254	3,048	165	27,432	11,43	105	01:45
Agosto	3	15:20	1,016	12,192	165				
Agosto	3	15:35	0,762	9,144	165				
Agosto	3	15:40	0,254	3,048	165				
Agosto	3	15:45	2,286	27,432	165				
Agosto	3	15:50	2,032	24,384	165				
Agosto	3	15:55	1,524	18,288	165				
Agosto	3	16:00	0,254	3,048	165				
Agosto	3	16:05	0,508	6,096	165				
Agosto	3	16:15	0,254	3,048	165				
Agosto	3	16:20	1,016	12,192	165				
Agosto	3	16:35	0,254	3,048	165				
Agosto	3	16:50	0,762	9,144	165				
Agosto	3	16:55	0,254	3,048	165				
Agosto	4	10:35	0,254	3,048	166	3,048	0,508	10	00:10
Agosto	4	10:40	0,254	3,048	166				
Agosto	5	01:40	1,016	12,192	167	12,192	2,794	35	00:35
Agosto	5	01:45	0,762	9,144	167				
Agosto	5	01:50	0,254	3,048	167				

Anexo 7. Tabla de precipitación acumulada según fechas de visitas de campo, en que se recolecto sedimento de cada una de las parcelas establecidas.

Rótulos de columna						
abril						
	3	Total 3	6	3	Total 6	7
Valores	1	2	3	4	5	6
Suma de mm total del evento	0,508	0,508	6,858	1,778	8,636	0,508
Máx intensidad	3,05	3,05	48,77	6,10	48,77	3,05
Suma de Horas	01:00	01:00	00:20	02:05	02:25	01:05
Periodo	Fecha muestreo	Precipitación acumulada (mm)	Intensidad Máxima	Intensidad promedio	Horas entre muest.	
1	20-abr	51	70,1	18	14,2	
1	4-may	75	42,7	19	39,9	
1	15-may	275	137,2	50	46,6	
1	1-jun	203	48,8	22	70,8	
2	23-jun	366	97,6	41	85,2	
2	8-jul	150	128,0	39	64,6	
2	12-ago	501	106,7	28	133,6	
3	5-setiembre	481	155,4	58	77,4	
3	23 setiembre	421	97,6	47	48,3	
3	17-oct	241	121,9	32	51,5	
4	4-nov	274	70,1	40	48,9	
4	21-nov	262	289,0	40	96,0	
4	5-dic	265	42,7	19	75,0	
4	15-dic	68	76,2	30	18,6	
		3631,70				

Anexo 8. Matriz datos precipitación acumulada y sedimento para cada pastura, datos necesarios para la realización y análisis de regresión.

Tratamiento	Rep	Visita	Sy = Sedim	x1=+Precip Acum. (mm)	x2=Int Max. (mm)	x3=Int. Prom. (mm)	ln y	ln x1	ln x2	ln x3
Brizantha	1	1	1	51	70	18	0,00	3,93	4,25	2,89
Brizantha	2	1	1	51	70	18	0,00	3,93	4,25	2,89
Brizantha	3	1	1	51	70	18	0,00	3,93	4,25	2,89
Brizantha	1	2	46	75	43	19	3,83	4,32	3,75	2,94
Brizantha	2	2	73	75	43	19	4,29	4,32	3,75	2,94
Brizantha	3	2	96	75	43	19	4,56	4,32	3,75	2,94
Brizantha	1	3	20	275	137	50	3,00	5,62	4,92	3,91
Brizantha	2	3	17	275	137	50	2,83	5,62	4,92	3,91
Brizantha	3	3	16	275	137	50	2,77	5,62	4,92	3,91
Brizantha	1	4	1	203	49	22	0,00	5,31	3,89	3,09
Brizantha	2	4	9	203	49	22	2,20	5,31	3,89	3,09
Brizantha	3	4	54	203	49	22	3,99	5,31	3,89	3,09
Brizantha	1	5	38	366	98	41	3,64	5,90	4,58	3,71
Brizantha	2	5	43	366	98	41	3,76	5,90	4,58	3,71
Brizantha	3	5	29	366	98	41	3,37	5,90	4,58	3,71
Brizantha	1	6	1	150	128	39	0,00	5,01	4,85	3,66
Brizantha	2	6	1	150	128	39	0,00	5,01	4,85	3,66
Brizantha	3	6	9	150	128	39	2,20	5,01	4,85	3,66
Brizantha	1	7	24	501	107	28	3,18	6,22	4,67	3,33
Brizantha	2	7	17	501	107	28	2,83	6,22	4,67	3,33
Brizantha	3	7	17	501	107	28	2,83	6,22	4,67	3,33
Brizantha	1	8	35	481	155	58	3,56	6,18	5,05	4,06
Brizantha	2	8	43	481	155	58	3,76	6,18	5,05	4,06
Brizantha	3	8	1	481	155	58	0,00	6,18	5,05	4,06
Brizantha	1	9	16	421	98	47	2,77	6,04	4,58	3,85
Brizantha	2	9	25	421	98	47	3,22	6,04	4,58	3,85
Brizantha	3	9	22	421	98	47	3,09	6,04	4,58	3,85
Brizantha	1	10	10	241	122	32	2,30	5,48	4,80	3,47
Brizantha	2	10	13	241	122	32	2,56	5,48	4,80	3,47
Brizantha	3	10	11	241	122	32	2,40	5,48	4,80	3,47
Brizantha	1	11	34	274	70	40	3,53	5,61	4,25	3,69
Brizantha	2	11	18	274	70	40	2,89	5,61	4,25	3,69
Brizantha	3	11	31	274	70	40	3,43	5,61	4,25	3,69
Brizantha	1	12	15	262	289	40	2,71	5,57	5,67	3,69
Brizantha	2	12	1	262	289	40	0,00	5,57	5,67	3,69
Brizantha	3	12	7	262	289	40	1,95	5,57	5,67	3,69
Brizantha	1	13	3	265	43	19	1,10	5,58	3,76	2,92
Brizantha	2	13	6	265	43	19	1,79	5,58	3,76	2,92
Brizantha	3	13	1	265	43	19	0,00	5,58	3,76	2,92
Brizantha	1	14	15	68	76	30	2,71	4,22	4,33	3,40
Brizantha	2	14	1	68	76	30	0,00	4,22	4,33	3,40
Brizantha	3	14	7	68	76	30	1,95	4,22	4,33	3,40

Tratamiento	Rep	Visita	Sy = Sedim. (g)	Precip Acum	x2=Int Max. (mm)	x3=Int. Prom. (mm)	In y	In x1	In x2	In x3
Ratana	1	1	1	51	70	18	0,00	3,93	4,25	2,89
Ratana	2	1	1	51	70	18	0,00	3,93	4,25	2,89
Ratana	3	1	1	51	70	18	0,00	3,93	4,25	2,89
Ratana	1	2	10	75	43	19	2,30	4,32	3,75	2,94
Ratana	2	2	22	75	43	19	3,09	4,32	3,75	2,94
Ratana	3	2	138	75	43	19	4,93	4,32	3,75	2,94
Ratana	1	3	3	275	137	50	1,10	5,62	4,92	3,91
Ratana	2	3	11	275	137	50	2,40	5,62	4,92	3,91
Ratana	3	3	30	275	137	50	3,40	5,62	4,92	3,91
Ratana	1	4	9	203	49	22	2,20	5,31	3,89	3,09
Ratana	2	4	3	203	49	22	1,10	5,31	3,89	3,09
Ratana	3	4	111	203	49	22	4,71	5,31	3,89	3,09
Ratana	1	5	41	366	98	41	3,71	5,90	4,58	3,71
Ratana	2	5	5	366	98	41	4,71	5,90	4,58	3,71
Ratana	3	5	111	366	98	41	2,30	5,90	4,58	3,71
Ratana	1	6	10	150	128	39	0,00	5,01	4,85	3,66
Ratana	2	6	1	150	128	39	2,08	5,01	4,85	3,66
Ratana	3	6	8	150	128	39	3,76	5,01	4,85	3,66
Ratana	1	7	43	501	107	28	0,00	6,22	4,67	3,33
Ratana	2	7	1	501	107	28	4,13	6,22	4,67	3,33
Ratana	3	7	62	501	107	28	2,48	6,22	4,67	3,33
Ratana	1	8	12	481	155	58	1,10	6,18	5,05	4,06
Ratana	2	8	3	481	155	58	4,38	6,18	5,05	4,06
Ratana	3	8	80	481	155	58	2,30	6,18	5,05	4,06
Ratana	1	9	10	421	98	47	1,10	6,04	4,58	3,85
Ratana	2	9	3	421	98	47	4,45	6,04	4,58	3,85
Ratana	3	9	86	421	98	47	4,45	6,04	4,58	3,85
Ratana	1	10	1	241	122	32	0,00	5,48	4,80	3,47
Ratana	2	10	1	241	122	32	0,00	5,48	4,80	3,47
Ratana	3	10	1	241	122	32	0,00	5,48	4,80	3,47
Ratana	1	11	8	274	70	40	2,08	5,61	4,25	3,69
Ratana	2	11	5	274	70	40	1,61	5,61	4,25	3,69
Ratana	3	11	38	274	70	40	3,64	5,61	4,25	3,69
Ratana	1	12	2	262	289	40	0,69	5,57	5,67	3,69
Ratana	2	12	1	262	289	40	0,00	5,57	5,67	3,69
Ratana	3	12	15	262	289	40	2,71	5,57	5,67	3,69
Ratana	1	13	5	265	43	19	1,61	5,58	3,76	2,92
Ratana	2	13	8	265	43	19	2,08	5,58	3,76	2,92
Ratana	3	13	6	265	43	19	1,79	5,58	3,76	2,92
Ratana	1	14	4	68	76	30	1,39	4,22	4,33	3,40
Ratana	2	14	4	68	76	30	1,39	4,22	4,33	3,40
Ratana	3	14	15	68	76	30	2,71	4,22	4,33	3,40

Anexo 9. Prueba para diferencias significativas en las pendientes de regresión.

	Precipitación- Pérdida de		
	sedimentos		
	Brizantha	Xaraés	Ratana
VARIABLE X 1	0,649130414	0,686411999	0,531175603
SUMA DE CUADRADOS	8,78360438	9,821517257	5,881459232
PROMEDIO DE LOS CUADRADOS	8,78360438	9,821517257	5,881459232
T BRIZANTHA VS RATANA	0,203725485		
SP	1,451072574		
T XARAÉS VS BRIZANTHA	0,091315234		
SP	0,518956438		
T XARAÉS VS RATANA	0,254997363		
SP	1,970029012		

Anexo 10. Tabla con los resultados de la regresión para los valores de mm lluvia acumulado-pérdida de sedimentos para cada uno de los pastos.

Marandú			mm			Xaraés		
X (mm)	Sy (g sedim)	g m ² /mes	Ratana			X (mm)	Sy (g sedim)	g m ² /mes
51	3,80	0,15	51	3,79	0,15	51	1,76	0,07
68	4,60	0,18	68	4,43	0,18	68	2,16	0,09
75	4,88	0,20	75	4,65	0,19	75	2,30	0,09
150	7,69	0,31	150	6,75	0,27	150	3,71	0,15
203	9,34	0,37	203	7,92	0,32	203	4,56	0,18
241	10,45	0,42	241	8,67	0,35	241	5,14	0,21
262	11,02	0,44	262	9,06	0,36	262	5,43	0,22
265	11,10	0,44	265	9,11	0,36	265	5,48	0,22
274	11,35	0,45	274	9,28	0,37	274	5,61	0,22
275	11,38	0,46	275	9,30	0,37	275	5,62	0,22
366	13,70	0,55	366	10,83	0,43	366	6,84	0,27
421	14,99	0,60	421	11,66	0,47	421	7,53	0,30
481	16,35	0,65	481	12,51	0,50	481	8,25	0,33
501	16,80	0,67	501	12,79	0,51	501	8,49	0,34

Anexo 11. Matriz de datos precipitación, pérdida de sedimentos, IFM y Factor R, para cada uno de los pastos.

Tratamiento	Re	Visi	Cl=+Precip Acum. (n	y = Sedim.	Indice Fournie	Factor R	n Sy=sedime	In indice fourni	In Factor
Brizantha	1	1	51	1	0,7	0,7	0,00	-0,33	-0,40
Brizantha	2	1	51	1	0,7	0,7	0,00	-0,33	-0,40
Brizantha	3	1	51	1	0,7	0,7	0,00	-0,33	-0,40
Brizantha	1	2	75	46	1,5	0,0	3,83	0,44	-4,43
Brizantha	2	2	75	73	1,5	0,0	4,29	0,44	-4,43
Brizantha	3	2	75	96	1,5	0,0	4,56	0,44	-4,43
Brizantha	1	3	275	20	20,8	64,4	3,00	3,04	4,17
Brizantha	2	3	275	17	20,8	64,4	2,83	3,04	4,17
Brizantha	3	3	275	16	20,8	64,4	2,77	3,04	4,17
Brizantha	1	4	203	1	11,3	13,0	0,00	2,43	2,56
Brizantha	2	4	203	9	11,3	13,0	2,20	2,43	2,56
Brizantha	3	4	203	54	11,3	13,0	3,99	2,43	2,56
Brizantha	1	5	366	38	36,9	49,5	3,64	3,61	3,90
Brizantha	2	5	366	43	36,9	49,5	3,76	3,61	3,90
Brizantha	3	5	366	29	36,9	49,5	3,37	3,61	3,90
Brizantha	1	6	150	1	6,2	6,1	0,00	1,82	1,81
Brizantha	2	6	150	1	6,2	6,1	0,00	1,82	1,81
Brizantha	3	6	150	9	6,2	6,1	2,20	1,82	1,81
Brizantha	1	7	501	24	69,1	63,2	3,18	4,24	4,15
Brizantha	2	7	501	17	69,1	63,2	2,83	4,24	4,15
Brizantha	3	7	501	17	69,1	63,2	2,83	4,24	4,15
Brizantha	1	8	481	35	63,7	91,4	3,56	4,15	4,51
Brizantha	2	8	481	43	63,7	91,4	3,76	4,15	4,51
Brizantha	3	8	481	1	63,7	91,4	0,00	4,15	4,51
Brizantha	1	9	421	16	48,8	106,4	2,77	3,89	4,67
Brizantha	2	9	421	25	48,8	106,4	3,22	3,89	4,67
Brizantha	3	9	421	22	48,8	106,4	3,09	3,89	4,67
Brizantha	1	10	241	10	16,0	44,0	2,30	2,77	3,78
Brizantha	2	10	241	13	16,0	44,0	2,56	2,77	3,78
Brizantha	3	10	241	11	16,0	44,0	2,40	2,77	3,78
Brizantha	1	11	274	34	20,7	38,2	3,53	3,03	3,64
Brizantha	2	11	274	18	20,7	38,2	2,89	3,03	3,64
Brizantha	3	11	274	31	20,7	38,2	3,43	3,03	3,64
Brizantha	1	12	262	15	18,9	14,3	2,71	2,94	2,66
Brizantha	2	12	262	1	18,9	14,3	0,00	2,94	2,66
Brizantha	3	12	262	7	18,9	14,3	1,95	2,94	2,66
Brizantha	1	13	265	3	19,3	15,9	1,10	2,96	2,77
Brizantha	2	13	265	6	19,3	15,9	1,79	2,96	2,77
Brizantha	3	13	265	1	19,3	15,9	0,00	2,96	2,77
Brizantha	1	14	68	15	1,3	4,0	2,71	0,24	1,37
Brizantha	2	14	68	1	1,3	4,0	0,00	0,24	1,37
Brizantha	3	14	68	7	1,3	4,0	1,95	0,24	1,37

Tratamiento	Rep	Visita	x1=+Precip Acum. (mm)	Sy = Sedim. (g)	Indice Fourn	Factor R	In Sy=sedimer	In indice fourm	In Factor R
Ratana	1,00	1,00	51,00	1,00	0,72	0,67	0,00	-0,33	-0,40
Ratana	2,00	1,00	51,00	1,00	0,72	0,67	0,00	-0,33	-0,40
Ratana	3,00	1,00	51,00	1,00	0,72	0,67	0,00	-0,33	-0,40
Ratana	1,00	2,00	75,00	10,00	1,55	0,01	2,30	0,44	-4,43
Ratana	2,00	2,00	75,00	22,00	1,55	0,01	3,09	0,44	-4,43
Ratana	3,00	2,00	75,00	138,00	1,55	0,01	4,93	0,44	-4,43
Ratana	1,00	3,00	275,00	3,00	20,82	64,41	1,10	3,04	4,17
Ratana	2,00	3,00	275,00	11,00	20,82	64,41	2,40	3,04	4,17
Ratana	3,00	3,00	275,00	30,00	20,82	64,41	3,40	3,04	4,17
Ratana	1,00	4,00	203,00	9,00	11,35	12,97	2,20	2,43	2,56
Ratana	2,00	4,00	203,00	3,00	11,35	12,97	1,10	2,43	2,56
Ratana	3,00	4,00	203,00	111,00	11,35	12,97	4,71	2,43	2,56
Ratana	1,00	5,00	366,00	41,00	36,89	49,52	3,71	3,61	3,90
Ratana	2,00	5,00	366,00	5,00	36,89	49,52	1,61	3,61	3,90
Ratana	3,00	5,00	366,00	111,00	36,89	49,52	4,71	3,61	3,90
Ratana	1,00	6,00	150,00	10,00	6,20	6,09	2,30	1,82	1,81
Ratana	2,00	6,00	150,00	1,00	6,20	6,09	0,00	1,82	1,81
Ratana	3,00	6,00	150,00	8,00	6,20	6,09	2,08	1,82	1,81
Ratana	1,00	7,00	501,00	43,00	69,11	63,18	3,76	4,24	4,15
Ratana	2,00	7,00	501,00	1,00	69,11	63,18	0,00	4,24	4,15
Ratana	3,00	7,00	501,00	62,00	69,11	63,18	4,13	4,24	4,15
Ratana	1,00	8,00	481,00	12,00	63,71	91,36	2,48	4,15	4,51
Ratana	2,00	8,00	481,00	3,00	63,71	91,36	1,10	4,15	4,51
Ratana	3,00	8,00	481,00	80,00	63,71	91,36	4,38	4,15	4,51
Ratana	1,00	9,00	421,00	10,00	48,80	106,41	2,30	3,89	4,67
Ratana	2,00	9,00	421,00	3,00	48,80	106,41	1,10	3,89	4,67
Ratana	3,00	9,00	421,00	86,00	48,80	106,41	4,45	3,89	4,67
Ratana	1,00	10,00	241,00	1,00	15,99	43,98	0,00	2,77	3,78
Ratana	2,00	10,00	241,00	1,00	15,99	43,98	0,00	2,77	3,78
Ratana	3,00	10,00	241,00	1,00	15,99	43,98	0,00	2,77	3,78
Ratana	1,00	11,00	274,00	8,00	20,67	38,22	2,08	3,03	3,64
Ratana	2,00	11,00	274,00	5,00	20,67	38,22	1,61	3,03	3,64
Ratana	3,00	11,00	274,00	38,00	20,67	38,22	3,64	3,03	3,64
Ratana	1,00	12,00	262,00	2,00	18,90	14,27	0,69	2,94	2,66
Ratana	2,00	12,00	262,00	1,00	18,90	14,27	0,00	2,94	2,66
Ratana	3,00	12,00	262,00	15,00	18,90	14,27	2,71	2,94	2,66
Ratana	1,00	13,00	265,00	5,00	19,34	15,92	1,61	2,96	2,77
Ratana	2,00	13,00	265,00	8,00	19,34	15,92	2,08	2,96	2,77
Ratana	3,00	13,00	265,00	6,00	19,34	15,92	1,79	2,96	2,77
Ratana	1,00	14,00	68,00	4,00	1,27	3,95	1,39	0,24	1,37
Ratana	2,00	14,00	68,00	4,00	1,27	3,95	1,39	0,24	1,37
Ratana	3,00	14,00	68,00	15,00	1,27	3,95	2,71	0,24	1,37

Anexo 12. Prueba para diferencias significativas en las pendientes de regresión de los índices de IFM y R.

	Índice Fournier		
	Marandú	Xaraés	Ratana
VARIABLE X 1	0,324565207	0,343206	0,26312
SUMA DE CUADRADOS	8,78360438	9,82151726	5,77266767
PROMEDIO DE LOS CUADRADOS	8,78360438	9,82151726	5,77266767
T Marandú VS RATANA	0,104668108		
SP	1,505468355		
T XARAÉS VS Marandú	0,045657617		
SP	0,518956438		
T XARAÉS VS RATANA	0,130027644		
SP	2,024424793		

FACTOR R

	Marandú	Xaraés	Ratana
VARIABLE X 1	0,022053987	0,16541181	0,0033434
SUMA DE CUADRADOS	0,113041955	6,35914087	0,00259802
PROMEDIO DE LOS CUADRADOS	0,113041955	6,35914087	0,00259802
T Marandú VS RATANA	0,000953088		
SP	0,055221968		
T XARAÉS VS Marandú	0,04691468		
SP	3,123049456		
T XARAÉS VS RATANA	0,008255393		
SP	3,178271424		

Anexo 13. Tablas con los valores de la regresión para el índice IFM-pérdida de sedimentos y valores de regresión para el factor R-pérdida de sedimentos, para cada uno de los pastos.

1)

Marandú			Ratana			Xaraés		
Indice Fournier	Sy (g sedim)	g/m ² /mes	Indice Fournier	Sy (g sedim)	g/m ² /mes	Indice Fournier	Sy (g sedim)	g/m ² /mes
0,7	3,80	0,15	0,7	3,57	0,14	0,7	1,77	0,07
1,3	4,59	0,18	1,3	4,16	0,17	1,3	2,15	0,09
1,5	4,84	0,19	1,5	4,34	0,17	1,5	2,28	0,09
6,2	7,66	0,31	6,2	6,30	0,25	6,2	3,70	0,15
11,3	9,31	0,37	11,3	7,38	0,30	11,3	4,55	0,18
16,0	10,42	0,42	16,0	8,09	0,32	16,0	5,13	0,21
18,9	11,00	0,44	18,9	8,45	0,34	18,9	5,43	0,22
19,3	11,09	0,44	19,3	8,50	0,34	19,3	5,47	0,22
20,7	11,33	0,45	20,7	8,65	0,35	20,7	5,60	0,22
20,8	11,35	0,45	20,8	8,67	0,35	20,8	5,61	0,22
36,9	13,67	0,55	36,9	10,08	0,40	36,9	6,83	0,27
48,8	14,97	0,60	48,8	10,85	0,43	48,8	7,52	0,30
63,7	16,32	0,65	63,7	11,63	0,47	63,7	8,24	0,33
69,1	16,76	0,67	69,1	11,89	0,48	69,1	8,47	0,34

2)

Marandú			Ratana			Xaraés		
Factor R	Sy (g sedim)	g/m ² /mes	Factor R	Sy (g sedim)	g/m ² /mes	Factor R	Sy (g sedim)	g/m ² /mes
0,0	8,24	0,33	0,0	7,40	0,30	0,0	1,49	0,06
0,7	9,00	0,36	0,7	7,50	0,30	0,7	2,90	0,12
4,0	9,36	0,37	4,0	7,54	0,30	4,0	3,89	0,16
6,1	9,45	0,38	6,1	7,55	0,30	6,1	4,18	0,17
13,0	9,61	0,38	13,0	7,57	0,30	13,0	4,74	0,19
14,3	9,63	0,39	14,3	7,58	0,30	14,3	4,81	0,19
15,9	9,65	0,39	15,9	7,58	0,30	15,9	4,90	0,20
38,2	9,84	0,39	38,2	7,60	0,30	38,2	5,66	0,23
44,0	9,87	0,39	44,0	7,60	0,30	44,0	5,80	0,23
49,5	9,89	0,40	49,5	7,61	0,30	49,5	5,91	0,24
63,2	9,95	0,40	63,2	7,61	0,30	63,2	6,15	0,25
64,4	9,95	0,40	64,4	7,61	0,30	64,4	6,17	0,25
91,4	10,03	0,40	91,4	7,62	0,30	91,4	6,54	0,26
106,4	10,06	0,40	106,4	7,63	0,31	106,4	6,71	0,27